

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

«На правах рукопису»

УДК 004.42

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

І.Р. Пархомей

(підпис)

“ ” 2019 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»

на тему: «Підвищення стійкості системи керування робототехнічною системою»

Виконав: студент другого курсу, групи ІК-82мп  
(шифр групи)

Болкунович Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник: д. т. н., професор Пархомей І.Р.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант НК к.т.н., доцент, Пасько В.П.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент викладач кафедри АУТС Міщенко В.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій  
магістерській дисертації немає  
запозичень з праць інших  
авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ І.Р. Пархомей

(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Болкуневичу Владиславу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Підвищення стійкості системи керування робототехнічною системою»,

науковий керівник дисертації: д. т. н., професор Пархомей Ігор Ростиславович,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «28» 10 2019 р. № 3770-с

2. Термін подання студентом дисертації 18.11.2019

3. Об'єкт дослідження: система керування робототехнічною системою.

4. Предмет дослідження: методи та технології підвищення стійкості роботи системи керування.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналіз існуючих рішень; аналіз структури існуючих роботів та систем їх керування; розробка рекомендацій щодо підвищення стійкості робототизованої системи; оцінка ефективності синтезованої системи керування.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

7. Орієнтовний перелік публікацій – одна публікація

## 8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Перевірка на співпадіння	Лісовиченко О.І., доцент		
НК	Пасько В. П., доцент		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Формування проблематики	03.09.2019 – 07.09.2019	
	Аналіз предметної області	8.09.2019 – 11.09.2019	
	Постановка задачі	12.09.2019 – 22.09.2019	
	Структура системи керування роботом	23.09.2019 – 29.09.2019	
	Підвищення стійкості синтезованої системи	30.09.2019 – 10.10.2019	
	Розробка системи	11.10.2019 – 19.10.2019	
	Оцінка розробленої системи	20.10.2019 – 23.10.2019	
	Практичне застосування	24.10.2019 – 27.10.2019	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)\_\_\_\_\_  
(ініціали, прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Проблема компактних та достатньо потужних джерел енергії для робототехнічних систем є невирішеною сьогодні. Пошук стійких робототехнічних систем є затребуваною задачею. У наш час розроблено багато методів покращення роботи роботизованих систем різних типів. Проводяться дослідження для пошуку рішень з покращення сигналу передачі, що дозволяло б збільшити ефективний час використання робота.

Метою дисертації є аналіз структури існуючих роботів та систем їх керування, розробка рекомендацій щодо підвищення стійкості робототизованої системи та оцінка ефективності синтезованої системи керування.

Загальний об'єм роботи – 70 сторінок, 15 рисунків, 22 таблиці, 2 додатків, 18 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Ключові слова: робототехнічна система, стійкість, елементна база, критерії стійкості системи, алгоритм керування.

## ABSTRACT

The problem of compact and powerful energy sources for robotic systems is unresolved today. Finding efficient power supplies for robots is a much-needed task. In our time, many electrical sources of energy of different batteries types have been developed. A large amount of research are conducted to find decisions with energy recovery, which has made it possible to achieve more battery lifetime. So, there are chemical and physical energy storage with recovery possibility. There is also a gas storage solution.

The objective of the dissertation is efficiency increasing by making the process of the gas storage recovery module designing automatic, so designer work is able to be faster and more quality. The purpose is to design a system, which is able to do computing of gas storage module.

The application allows engineers, researchers, and scientists to make calculations with higher efficiency and avoid mistakes.

Total capacity: 70 pages, 15 figures, 22 tables, 2 applications, 18 references.

Keywords: robotic system, stability, element base, system stability criteria, control algorithm.

**Пояснювальна записка  
до магістерської дисертації**

на тему: *Підвищення стійкості системи керування робототехнічною системою*

Київ – 2019 року

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОТІВ ТА ЇХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ.....	11
1.1. Типи управління робототехнічними системами .....	11
1.2. Елементна база робототехнічної системи .....	14
1.3. Принципи побудови систем керування робототехнічною системою .....	22
Висновки до розділу .....	26
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	28
2.1. Стійкість робототехнічних систем .....	28
2.2. Розробка структури системи керування робототехної системи .....	31
2.3. Розробка алгоритмів керування робототехної системи .....	37
Висновки до розділу .....	46
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СИНТЕЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	47
3.1. Моделювання процесу функціонування робототехнічної системи .....	47
3.2. Оцінка синтезованої системи керування.....	50
Висновки до розділу .....	56
4. МАРКЕТИНГОВИЙ АНАЛІЗ СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	57
4.1. Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).....	57
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту .....	58
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартапу .....	59
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту .....	64
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	65
Висновки до розділу .....	68
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	70

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

РС – робототехнічна система

САУ – система автоматичного управління

ТЗ – транспортний засіб

САПМ – спеціалізований апаратно-програмний модуль

ІРС – інтелектуальна робототехнічна система

МР – мобільний робот

ІІ – штучний інтелект

ВП – виконавчий пристрій

МРС – мобільні роботизовані системи



## ВСТУП

Інтелектуальне управління це застосування методів штучного інтелекту для управління об'єктами різної фізичної природи. В області управління робототехнічними системами методів штучного інтелекту знаходиться на найбільш широкому застосуванні. Це обумовлено, попередньо загалом, автономною роботою і необхідністю рішення, і неформалізованими творчими завданнями в умовах, невизначених інформацією та різними видами невизначеності.

Указаний клас задач до недавнього часу залишився прерогативної естетичної інтелекту: оператор об'єкта управління, інженера тобто людини. Сучасні досягнення в області теорії автоматичного управління, інтелектуальні методи формування формацій малоструктурованих завдань і управління складними технічними системами дозволяють реалізувати дуже складні робототехнічні системи, до яких належать мобільні роботи, платформи, гнучкі автоматичні лінії та андроїдні роботи.

Робототехнічні системи функціонують в умовах неповної вхідної інформації, коли принципова неможливість вимірювання ряду параметрів встановлює суттєві обмеження на програму управління. Це приводить до необхідності розробки базових алгоритмів, орієнтуючись на основу визнань та вимірюючих показників, зчитуючи невідомі параметри.

Невизначеність зовнішньої системи, яка працює в робототехнічній системі, включає в себе загальну систему управління різними компенсаторами, модулями адаптації, накопичення і ранжирування інформації.

В наш час робототехнічні системи все більше інтегруються в людське суспільство, та стають невід'ємною його частиною.

Про те розробка даних систем ще стоїть на початковому рівні розвитку, що в свою чергу робить дані системи не досконалими та залежними від навколишнього середовища та інших чинників що можуть впливати на їх роботу.

Так одним з показників доцільного використання таких роботів є стійкість управління робототехнічними системами(РС). В даній дисертації ми хочем

розглянути сучасні види роботів, виокремити основний напрямок їх використання та зупинитись на певній елементній базі такого робота. В подальшому розібрати можливі системи управління даним роботом, виокремити слабкі та сильні місця тієї чи іншої системи. Враховуючи проведений аналіз, розробити алгоритми по підвищенню стійкості використання таких систем, змодельовати процес функціонування робототехнічної системи, а також оцінити стійкість синтезованої системи керування та подальші можливі покращення її роботи.

Об'єктом дослідження є система керування робототехнічною системою.

Предмет дослідження є методи та технології підвищення стійкості роботи системи керування.

Метою дисертації є аналіз структури існуючих роботів та систем їх керування, розробка рекомендацій щодо підвищення стійкості робототизованої системи та оцінка ефективності синтезованої системи керування.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОТІВ ТА ЇХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

### 1.1. Типи управління робототехнічними системами

Пристрої керування роботами, як правило, ділять на три типи, які будуть представлені нижче. Вони ж, у свою чергу, діляться ще на 3 підгрупи кожна. І кожна з них має своє призначення, свої відмінності, свої достоїнства і недоліки, компромісом між якими і досягається оптимальне функціонування конкретної мехатронної системи при конкретних умовах і наявності тих чи інших фахівців і матеріальних засобів. Не можна судити про систему управління тільки за її сучасності, якості виконання, нестандартної реалізації та інших зовнішніх факторів. Кожному своє. А в деяких випадках і зовсім немає вибору між декількома видами пристроїв управління, наприклад, якщо не дозволяють умови роботи робота розмістити поруч оператора – наприклад, в зоні, яка уражена радіацією. Або якщо роботу дається величезна кількість зовні різних деталей, але у яких повинен бути однаковий принцип обробки – в такому випадку критерій самонавчання стає життєво важливим і необхідним. Або при роботі на Місяці, коли апарат виявляється на зворотному від Землі стороні нашого супутника і не має можливості отримувати команди від оператора з землі – в такому випадку в нього повинна бути закладена програма, яка дозволила б йому самостійно продовжувати роботу, дослідження, пошуки і при цьому підтримувати свої системи життєзабезпечення[1].

#### Типи управління робототехнічними системами

За типом управління робототехнічні системи підрозділяються на:

1. Біотехнічні.
2. Автоматичні.
3. Інтерактивні.

Перша категорія – біотехнічні системи управління. Це такий тип роботів, в якому рух руки людини – оператора, повторюється рухом маніпулятора робота в максимальній точності. Переваги такої категорії очевидні, оскільки оператор має змогу знаходитися у віддаленому місті відносно до зони використання робота, до того ж людині може загрожувати небезпека різних рівнів складності, як низьких

так і взагалі смертельних. Крім того людина може виконувати ті чи інші задачі з більшою точністю, оскільки рухи робота є стабільнішими та набагато точнішими.

Командні – це категорія системи керування, в якій управління реалізується за допомогою важелів і кнопок, кожна з яких відповідає за свою ланку, або будь-яку функцію. Плюси тут є зворотною стороною мінусів – з одного боку можна дуже точно виставити кожен ланку в необхідне оператору положення, а з іншого зробити це займає багато сил, часу і старанності.

Копіюють – це категорія системи керування, які повторюють рухи людини. Найбільш поширеним видом є екзоскелети, які надягають на все тіло, на кілька частин тіла або на окрему кінцівку. Володіють деякою портативністю (хоч і далекою від ідеалу), що дозволяє використовувати їх навіть в повсякденному житті. Інший вид – це системи керування, де рух передається задає органом (наприклад, важелем) На даний момент, один з копіювальних маніпуляторів вміє піднімати до 3 тонн вантажу. Так екзоскелет від компанії Sarcos, дозволяє збільшувати силу людини. В частності переносити набагато важчі та тяжчі предмети, навідміну від бзових людских сил. За рахунок своєї покращеної системи, що вміщує в себе безліч новітніх датчиків, та потужного заліза, система взаємодії людини з роботом досить просунута, та дозволяє в повній мірі відтворювати всі рухи людини. Людина майже невідчуває втому та навантаження під час виконання важких завдань, про те розміри такого скелету є великими та енергозатратними, що є одним з мінусів такої САУ.

Напіваавтоматичні – це категорія системи керування, яка, по суті, є глибокою модернізацією попередніх двох підкатегорій в тому плані, що на систему встановлюється мікро-ЕОМ, яка займається обчисленням рухів робота, що дозволяє за допомогою одного важеля управляти всією кінематикою робота.

Друга категорія – системи автоматичного управління (САУ). Дана категорія робіт здатна працювати без якоїсь участі оператора. Їм досить заздалегідь закласти схему поведінки, задати послідовність, задати координати. Такі роботи дуже зручні в тих випадках, коли робота постійна, циклічна і не змінюється в

процесі її виконання. А також не потрібно витрачати гроші на оператора, та й швидкості автоматичні системи керування досягають більш високої, ніж інші (де бере участь людина). Не менш важливим є те, що при роботі таких роботів підвищується безпека, так як участь людини в технічному процесі або мінімально, або відсутній зовсім.

Програмні – це категорія системи керування, в якій роботи мають заздалегідь задану послідовність дій, програму. Дозволяють з високою швидкістю, надійністю та ефективністю виконувати повторювані дії. Головний плюс легко перепрограммівуються, що підвищує їх адаптивність.

Адаптивні – це категорія системи керування, яка є модифікованою версією програмних. Головна відмінність – це наявність адаптивного забезпечення: камер, ультразвукових датчиків відстані, датчиків торкання, системи розпізнавання кольору, розміру, образу і т.п. Все це дозволяє роботів самостійно коригувати свої дії і підлаштовуватися під зміни зовнішніх умов.

Інтелектуальні – це категорія системи керування, що є ще більш глибокою модернізацією попередніх двох підкатегорій. Найважливішим відмінністю є можливість зворотного спілкування з людиною, планування та перепланування поведінки, навігація, самонавчання і спілкування, взаємодія з іншими роботами і обладнанням, інструментами.

Третя категорія – це системи інтерактивного управління. Це змішаний тип в управлінні роботів, що дозволяє використовувати робота як повністю автономну, незалежну систему, але в разі необхідності людина може взяти керування роботом самостійно, також можливі варіації такої роботи по черзі. Особливістю даної категорії являється те, що людина має змогу подавати команди роботу за допомогою голосу, в текстовому виді, або ж за допомогою певного графічного інтерфейсу. До зручностей використання такого типу роботів, можна віднести те що роботи виконують завдання по черзі, і не має змогу приступити до іншої задачі, поки оператор не вкаже на її виконання.

## 1.2. Елементна база робототехнічної системи

Розглянемо основні пристрої, що використовуються для створення колісних роботів. Наука про архітектуру, створенні та управлінні роботами називається робототехнікою. Робототехніка використовує досягнення багатьох інших предметних областей: механіки, електротехніки, теорії управління, розпізнавання образів, системного програмування і так далі. Деякі галузі робототехніки добре вивчені, наприклад, створення автоматичних верстатів і ліній виробництва. З іншого боку, в управлінні автономними пристроями досі тривають активні дослідження, і немає будь-яких усталених, добре вивчених моделей.

У зв'язку зі зростаючою актуальністю використання роботів в сучасному світі особливої важливості набуває підготовка фахівців в цьому напрямі. Для формування загального сприйняття проблеми необхідно вивчати не конкретні моделі роботів, але якусь типову, узагальнену і розширювану модель. При цьому, з одного боку, потрібно знайомство майбутнього фахівця з різними аспектами робототехніки: механікою, електротехнікою, системами управління, програмним забезпеченням і так далі. З іншого боку, для спеціалізації в будь-якому напрямку потрібно можливість детального вивчення одного з аспектів без поглибленого вивчення інших. У цьому сенсі колісні роботи вигідно відрізняються від, наприклад, андроїдних роботів. Колісні роботи мають порівняно просту механіку і електроніку. Більш того, якісна механіка для колісних роботів[2] рис. 1.1 (колісні бази з підвісками, амортизаторами і т.д.) може бути запозичена з моделей, які використовуються в змаганнях радіомоделістів.



Рисунок 1.1. Колісний робот MARCbot

Подібні колісні бази доступні за ціною, мають гарною якістю виконання і можуть бути пристосовані для цілей робототехніки.

Порівняно проста модель колісного робота викликає, тим не менш, великий інтерес в світовому співтоваристві. Так, наприклад, широко відомі змагання колісних роботів, що грають в футбол, або завдання на рух по пересіченій місцевості автономних автомобілів. Колісні роботи рис. 1.1. мають і прикладне значення: дослідження важкодоступних областей (таких, як піраміда Хеопса або поверхню Марса), автоматичне рух по місту відповідно до правил дорожнього руху ( «автоматичне таксі»), і т.д.

Серводвигун – це будь-який електричний двигун, швидкість або положення якого управляється за допомогою замкнутого контуру зворотного зв'язку. Серводвигуни бувають декількох стандартних розмірів з великим діапазоном робочих параметрів. Певною перевагою використання таких серводвигунів є те, що через застосування їх в аматорських рухомих механізмах вони відносяться до продукції масового виробництва, а значить, коштують відносно недорого. Такі серводвигателі мають трьохконтактний роз'єм, за двома підключений до джерела живлення, а по третьому вхідний сигнал.

Спочатку ці пристрої були розроблені для коригування поверхонь управління моделей літаків під час польоту. Керуючий інтерфейс повинен був

бути простим і надійним, при цьому управління декількома елементами мало відбуватися одночасно з допомогою простих радіо сигналів. Час життя акумулятора і витрати на виробництво теж були важливим критерієм.

Так як в більшості випадків для коригування в польоті потрібні тільки невеликі зміни положення, діапазон обертання серводвигунів був обмежений  $90^\circ$ . Ці обертання часто переводилися в лінійні руху – переміщення закрилків (вгору і вниз), піднімання, і опускання шасі і т.д. Редукційна передача давала можливість відносно невеликій двигуну на короткій відстані виробляти великий крутний момент.

Керуючий вхідний сигнал серводвигуна є послідовність квадратних імпульсів довжиною від 1 мс до 2 мс, частота повторення яких лежить в діапазоні від 20 Гц до 60 Гц. Положення вихідного вала пропорційно ширині вхідного імпульсу – це управління з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ)[3]. Розглянемо складову колісних роботів рис. 1.2.

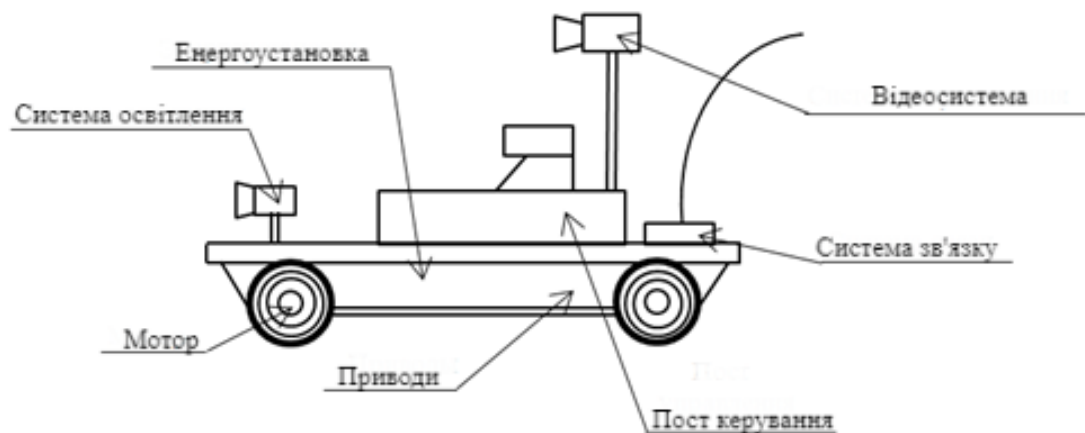


Рисунок 1.2. Загальна структура колісного робота

### *Регулятор ходу*

Регулятор ходу використовується для регулювання кількості обертів на силовому двигуні, який забезпечує руху вперед і назад. Він включається між акумулятором і силовим електродвигуном. Регулятор має такий же трьохконтактний роз'єм, як і у серводвигателя, і такий же вхідний сигнал управління ШІМ. У найпростішому випадку в завдання регулятора входить регулювання потоку потужності від акумулятора до двигуна. При тривалості



вхідного імпульсу 1 мс двигун вимкнений, при 2 мс двигун розвиває максимальну потужність. У проміжку потужність плавно змінюється.

Вхідний імпульс надходить на керований генератор імпульсів. Частота імпульсів постійна, а ось їх тривалість залежить від тривалості вхідного імпульсу наступним чином.

При тривалості вихідного імпульсу 0% на виході генератора їх просто немає – там низький рівень керуючого ключем сигналу. Ключ закритий, струм через двигун не тече. При тривалості вихідного імпульсу 100% від періоду на виході генератора теж імпульсів немає, але рівень керуючого ключем сигналу високий. Ключ відкритий, і вся напруга від акумулятора докладено до двигуна. Він розвиває при цьому максимальну потужність.

При проміжному значенні тривалості канального імпульсу на виході генератора присутні імпульси з тривалістю, визначеною за наведеним графіком. Скажімо, при канальному імпульсі 1,5 мс на виході генератора присутні імпульси, тривалість яких становить половину періоду. Відповідно, ключ К половину періоду відкритий, половину – закритий. Напруга в точці 1 повторює цю форму. Дана організація роботи регулятора ходу і пристрій колекторного двигуна дозволяє організувати плавну зміну швидкості обертання двигуна. При цьому двигун буде крутитися з постійною швидкістю, без посмикувань, на всіх швидкостях.

Регулятори ходу також є продукцією масового виробництва і коштують відносно недорого. Різні моделі регуляторів трохи відрізняються, і тому на керуючої апаратури потрібна невелика калібрування[4].

### *Контролер сервоприводів*

Контролер сервоприводів – це мікроконтролер з прошитим програмним забезпеченням. Він генерує сигнали для серводвигунів і регуляторів ходу згідно специфікації. У продажу є декілька контролерів, які здатні виконувати таку діяльність. Вони приймають сигнал на СОМ порт і виробляють відповідні сигнали для механіки. Але у них всіх різні протоколи спілкування через СОМ порт, що прив'язує кінцеву архітектуру до конкретної моделі сервоконтроллера.

У нашому випадку використовується контролер ZX-SERVO16. На початковій стадії цей контролер задовольняє потребам. Але для більш вільної архітектури потрібно використовувати контролери з власної прошивкою, так як це дозволяє нам розширювати і змінювати функціонал контролера.

Завдання програмування контролера для управління сервоприводами є наочною, що може бути використано для збільшення ефективності навчального процесу. Програмування контролера відбувається на низькорівневій мові, що демонструє різні архітектури.

### *Web-камера*

Web-камера використовується для зняття зображення з борту машини. У разі ручного управління відео передається в повному обсязі. При використанні технічних засобів відео передається частково, що дозволяє заощадити трафік. У найпростішому варіанті центр зображення кольоровий, а краю чорно-білі. Завдання про фільтрації зображення має певний інтерес. Необхідно з'ясувати, яка частина зображення, в якій кольоровій палітрі і як часто повинна надсилатися. Для вирішення цього завдання використовуються нейронні мережі та генетичні алгоритми.

### *Бортовий комп'ютер*

На борту робота встановлений комп'ютер архітектури x86. Ця поширена архітектура, що полегшує роботу з нею. Для неї існує велика кількість інструментів програмування і периферійних пристроїв. Це дозволяє з мінімальними витратами проводити розширення і зміна архітектури робота. Бортовий комп'ютер використовує дві операційні системи: Windows і Linux. Перша операційна система більш популярна і універсальна для рядових користувачів, що дозволяє з легкістю освоювати робота, але її через функціональність і закритість викликає ряд проблем, пов'язаних з продуктивністю і розширенням. В цілому Windows використовується для «обкатки» програм. У свою чергу, Linux – відкрита операційна система, але на початковій стадії роботи з нею виникають проблеми. Linux має різноманітні дистрибутиви, що дозволяє зібрати систему з максимальною продуктивністю.

Крім того Linux використовується на вбудованих системах, відмінних від архітектури x86, що зменшить витрати в разі формування рішення, заснованого на дешевих системах.

Бортовий комп'ютер передбачає розширення робота, що тягне за собою використання безлічі різних пристроїв, тому необхідний легко розширюваний протокол спілкування. Всі дані від бортового до командного комп'ютера передаються за допомогою одного TCP / IP з'єднання. Формат даних від командного до бортового і від бортового до командного комп'ютерів однаковий. Пакети мають такий вигляд:

ID Довжина пакета Дані пристрої

1 байт 1 байт не більше 253 байт

*Командний комп'ютер*

Модель робота забезпечена рульовим сервоприводом і регулятором ходу силового двигуна. Обидва пристрої підключені до контролера ZX-SERVO16. Цей контролер отримує сигнали від материнської плати бортового комп'ютера через COM-інтерфейс і виконує управління сервоприводом і регулятором ходу. Також до материнської плати бортового комп'ютера підключена Web-камера через шину USB. Нарешті, бортовий комп'ютер забезпечений Wi-Fi адаптером для зв'язку з іншими комп'ютерами по бездротовій мережі.

Перевагою такої організації є розширюваність моделі. Так, контролер ZX-SERVO16 дозволяє здійснювати управління 16 сервоприводами. Відповідно, в разі розширення моделі робота додатковими маніпуляторами (екскаваторний ківш, кранова установка, система управління Web-камерою) необхідні сервоприводи можуть бути підключені до наявного контролера. Також існують спеціальні контролери для оцифровки сигналів, які дозволяють перетворювати аналогові дані в цифрові і передають їх по COM-інтерфейсу. Відповідно, робот може бути забезпечений датчиками прискорення, лазерними далекомірами, гіроскопами і іншими пристроями. Також перевагою даної моделі є використання стандартних пристроїв та інтерфейсів. Відповідно, для розширення моделі не потрібна пайка або апаратне програмування мікросхем.

### *Мови управління роботами*

Пропонується шестирівнева програмна модель управління роботами: Мікроконтролерні рівень автоматних станів, елементарних рухів, структурного моделювання, сценаріїв, інтелектуального управління.

Мікроконтролерні рівень передбачає забезпечення взаємодії апаратури робота (сервоприводів і т.д.) з програмними комплексами більш високого рівня. Цей рівень включає в себе всю апаратно-залежну частину програмного забезпечення і дозволяє використовувати програмні комплекси більш високого рівня незалежно від конкретних моделей роботів і встановлених на ньому пристроїв. Зокрема, для управління сервоприводами використовується мова контролера сервоприводів. Команди на цій мові передаються через інтерфейс COM.

Рівень структурного моделювання дозволяє виділяти специфічні апаратні комплекси та вузли, давати їм певні завдання, вирішувати конфлікти між вузлами, забезпечувати вирішення завдань в динамічному режимі і автоматично вирішувати широкий спектр первинних завдань життєзабезпечення робота. Для програмування на рівні структурного моделювання передбачається використовувати сучасні мови (C #, Java та інші). Взаємодія між цими мовами і мовою рівня елементарних рухів здійснюється шляхом оголошення відповідних програмних інтерфейсів, які забезпечують об'єктно-орієнтоване уявлення робота.

Програмування на п'ятому рівні передбачає створення сценаріїв, що складаються з конкретних завдань без специфікації способу їх реалізації. Останній, шостий рівень призначений для формування мети, планування, навчання та інтелектуального рішення алгоритмічно важких завдань, що виникають в рамках реалізованих сценаріїв. Також шостий рівень призначений для загального моніторингу діяльності робота і налаштування загальних параметрів функціонування системи.

### *Інтеграція з інтелектуальними обчисленнями*

Для виконання інтелектуальних обчислень використовується спеціалізована бібліотека GANS. Дана бібліотека дозволяє збирати інтелектуальні системи (нейронні системи або генетичні алгоритми) з простих компонентів. Бібліотека написана на C # і має відкритий вихідний код.

При використанні об'єктно-орієнтованого уявлення робота, з одного боку, і бібліотеки інтелектуальних обчислень – з іншого, стає можливою розробка програм управління роботом «ізолювано» від тонкощів алгоритмів штучного інтелекту і особливостей взаємодії з пристроєм.

Відомо, що рішення задач за допомогою методів штучного інтелекту є досить ресурсомісткий процесом. З іншого боку, системи штучного інтелекту часто без праці можуть бути розпаралеленими. Тому необхідно передбачити можливість розпаралелювання цих алгоритмів на вузли високопродуктивної комп'ютерної техніки. Бібліотека GANS містить можливість розпаралелювання, і був розроблений спеціальний інструментарій для запуску інтелектуальних алгоритмів на вузлах кластера.

### *Розпізнавання зображень*

Обробка зображень, отриманих з камери робота, необхідна для вирішення завдань управління. Зокрема, необхідно виділення перешкод, оцінка відстані до них і т.д.

Обробка зображень ґрунтується на використанні нейронних мереж. Спочатку необхідно виконати перетворення «фон / фігура», тобто відокремити значущі зображення від загального фону. Для виконання цього перетворення була використана нейронна мережа, навчена на галереї зображень. Ця мережа аналізує пікселі зображення і визначає приналежність кожного пікселя до фону або значимого об'єкта. Потім зв'язкові області пікселів, що належать об'єктам, групуються і направляються на подальший аналіз.

Для побудови смуги перешкод використовувалися такі об'єкти, як великі кубики, кеглі. Для визначення типу об'єкта на фотографії використовується батарея нейронних мереж. Кожна з них вміє розпізнавати свій тип об'єктів.

Аналізатор подає зображення об'єкта на всі нейронні мережі і вибирає найбільш впевнену відповідь.

Перевагою такої архітектури є її розширюваність. Так, якщо змінився фон (наприклад, робот приїхав в нову, досі не відвідувану кімнату), то аналізатор «фон / фігура» може бути додатково навчений роботі в нових умовах. Аналогічно, якщо з'явився новий, досі невідомий тип об'єктів, він буде ідентифікований як невідомий, оскільки жодна нейронна мережа не зможе впевнено розпізнати його. Відповідно, робот задає питання оператору щодо назви цього об'єкта і навчає додаткову нейронну мережу.

Розпізнавання зображення важливо також для контролю поведінки роботів. Розглянемо, наприклад, типову задачу для колісного робота – «здачу на права». Це означає, що робот повинен минути деяку смугу перешкод, не пошкодивши і не перекинувши перешкоди. Контроль над виконанням цієї справи може бути покладено на відеокамеру. Така відеокамера встановлюється так, щоб в її огляд входило все простір, на якому робот здійснює пересування. За допомогою описаних розпізнають алгоритмів контролююча програма будуватиме карту місцевості, відзначаючи на ній робота, перешкоди і їх стану, сторонні об'єкти і т.д. Також ця програма здатна відзначити напрямок руху робота, його швидкість і інші параметри руху. За допомогою такої контролюючої програми інтелектуальні алгоритми, відповідальні за переміщення робота, отримують всю необхідну інформацію для корекції своєї поведінки.

### 1.3. Принципи побудови систем керування робототехнічною системою

Головна відмінна риса сучасної теорії управління – це розвиток інтелектуальних методів управління технічними системами, яка дуже чітко проявляється в робототехніці як однієї з передових науково-технічних областей. Саме інтелектуальні методи дозволяють ефективно вирішувати завдання управління робототехнічними системами.

До основних ознак систем інтелектуального управління розглянутого класу стосовно завдань слід віднести[5]:

- здатність автономно (без участі людини-оператора) приймати рішення про поведінку системи в деяких заздалегідь не визначених ситуаціях;
- можливість адаптувати (приспосовувати) структуру і закони руху робототехнічної системи до постійно змінюваних умов довкілля і впливи;
- здатність системи управління до самонавчання і накопичення знань в процесі дій керованої машини і їх використання в наступних завданнях управління;
- застосування процедур оптимізації на етапах планування, програмування і виконання всіх функціональних рухів машини;
- оцінка якості виконуваних рухів і діагностика фактичного стану керованої машини і процесів, що протікають в реальному часі;
- ефективну взаємодію з людиною-оператором, використання його інтелекту як експерта і навичок при плануванні дій машини;
- ієрархічність структури системи з чітким виділенням функцій, інформаційного забезпечення та зворотних зв'язків для кожного рівня управління;
- гнучке взаємодія розподілених підсистем через комп'ютерні мережі для досягнення загальних для всієї системи цілей управління;
- підвищені показники гнучкості, робастності і точності управління.

Ієрархічна структура – це багаторівневий набір взаємодіючих підсистем, кожна з яких відповідальна за вирішення певної задачі і має доступ до сенсорної інформації, необхідної для вирішення завдань управління даного рівня.

В сучасних робототехнічних системах, як правило, використовується ієрархія «зверху - вниз», коли нижній рівень повністю підпорядкований вищим.

Розглянемо ієрархію управління, типову для робототехнічних систем. Дана структура була запропонована в роботах академіка Є. П. Попова[6]. Виділяються чотири рівні управління: інтелектуальний, стратегічний, тактичний і виконавчий рис. 1.3.



Рисунок 1.3. Типова ієрархія робототехнічної системи

Інтелектуальний рівень – вищий рівень управління в системі. Призначення цього рівня – прийняття рішень про рух механічної системи в умовах неповної інформації про зовнішнє середовище і об'єктах робіт. Наприклад, розглянемо ситуацію, коли мобільний робот при русі в трубопроводі отримує інформацію від системи технічного зору про наявність перешкоди. Можливі такі постановки завдання руху:

1. зупинити рух і повернутися у вихідну позицію;
2. визначити тип і характеристики перешкоди і прибрати виявлений об'єкт;
3. продовжити виконуватися рух, ігноруючи наявність зовнішнього об'єкта.

Функції інтелектуального рівня в сучасних робототехнічних системах зазвичай виконує людина - оператор або потужний комп'ютер верхнього рівня управління.

Стратегічний рівень управління призначений для планування рухів робототехнічної системи. Планування рухів передбачає розбиття завдання руху,



поставленої інтелектуальним рівнем, на послідовність узгоджених в часі елементарних дій і формалізацію цілей управління для кожного з цих дій.

Прикладами елементарних дій мобільного робота може служити:

1. висновок робочого органу в задану позицію;
2. захоплення предмета;
3. тестове рух для визначення сил реакції з боку об'єкта;
4. транспортування об'єкта і повернення робота в вихідну позицію.

Формалізація цілей управління означає, що для кожного з елементарних дій повинні бути записані математичні співвідношення, виконання яких забезпечує успішне виконання дії. Для технологічних роботів на стратегічному рівні вирішується завдання геометричного планування руху робочого органу.

Стратегічний рівень видає інформацію про план руху і цілі управління в формі команд управління рухом. Важливо підкреслити, що структура і формати мов управління рухом істотно відрізняються від універсальних мов програмування (типу C ++, Java і т. п.), Хоча окремі оператори можуть збігатися (наприклад, оператори завдання циклу і логічні функції).

Тактичний рівень виконує перетворення команд управління рухом, що надходять зі стратегічного рівня управління, в програму управління, яка визначає закони узгодженого руху в часі всіх ланок механічного пристрою з урахуванням технічних характеристик блоку приводів (в першу чергу обмежень на узагальнені швидкості, прискорення і сили).

На тактичному рівні необхідно визначити узагальнені координати маніпулятора, які відповідають бажаним декартових координатах характеристичної точки схвата. Для цього повинна бути вирішена зворотна задача про становище маніпулятора.

Для керування швидкістю руху програма управління будується як результат розв'язання оберненої задачі про швидкості робочого органу. Для реалізації даних алгоритмів пристрій комп'ютерного управління має виконувати в реальному часі наступні основні функції[7]:

- прийом інформації від стратегічного рівня в формі команд управління рухом;
- прийом і обробку інформації від датчиків положення маніпулятора поточними налаштуваннями для розрахунку елементів матриці Якобі;
- множення зворотної матриці Якобі на вектор-стовпець програмної швидкості робочого органу;
- видачу програми управління на виконавчий рівень.

Виконавчий рівень управління призначений для розрахунку і видачі керуючих сигналів на блок приводів робототехнічної системи відповідно до програми управління з урахуванням технічних характеристик силових перетворювачів.

Для ієрархічних систем управління в робототехніці діє принцип, згідно з яким у міру просування від вищих до нижчих рівнів управління знижується інтелектуальність системи, але підвищується її точність. При цьому під «інтелектуальністю» розуміється здатність системи купувати спеціальні знання, що дозволяють уточнити поставлену задачу і визначити шляхи її вирішення, а під «неточністю» – невизначеність в операціях за рішенням даного завдання.

### Висновки до розділу

Головною проблемою автономних роботів є найбільш ефективне використання енергії. Ефективні накопичувачі дають змогу збільшити термін експлуатації одного робочого циклу без підзарядки, це дозволяє розширити можливості та сфери використання роботів.

Електричні системи накопичення енергії мають переваги у порівнянні з пневматичними та гідравлічними, тому використовуються сьогодні більш часто. Різні акумулятори є джерелами енергії в даних системах, вони мають як переваги, так і недоліки. Пошук рішення цієї проблеми здійснюється у всьому світі. Розробляються рішення такі, як магнієві, органічні, твердотілі, пінні, графенові, акумулятори, паливні комірки. Інші типи накопичувачів енергії розробляються на основі не лише електричних систем. Так, застосовуються

маховики, системи поєднання хімічних та кінетичних накопичувачів енергії та ін.

Таким чином, представлені адаптивні алгоритми управління, що відрізняються високою точністю. При синтезі конкретної системи управління необхідно побудувати математичну модель крокуючого робота і здійснити вибір базового адаптивного алгоритму. В якості структури системи управління можуть бути використані універсальні структури. В залежності від зовнішніх умов функціонування і можливостей реалізації проводиться вибір адаптивного підходу до управління роботом. На останньому етапі здійснюється адаптація розробленої системи управління до реальних умов функціонування.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

### 2.1. Стійкість робототехнічних систем

Для робототехнічної системи важливим завданням є завдання ідентифікації ситуації в поточний момент часу. Вирішення цього завдання входить в реалізацію інтелектуальних алгоритмів управління.

У зв'язку з автономністю роботів і нестачі інформації про навколишнє середовище і різних видів невизначеності широко поширені методи штучного інтелекту.

Необхідно сформулювати підхід і загальні принципи управління робототехнічними системами, що враховують неповноту вхідної інформації, і які працюють в динамічно змінюється навколишнє оточення та покращити стійкість такої системи.

У зв'язку з цим сформулюємо ряд завдань:

- розробити архітектуру системи управління роботом;
- розробити алгоритм ідентифікації та оцінки навколишнього середовища;
- розробити на основі цих даних стійку систему управління;
- оцінити стійкість синтезованої системи керування.

Для вирішення поставлених завдань використовуються методи теорії нечітких множин, технології нечіткої логіки, теорії диференціальних рівнянь, теорії автоматичного управління, методи обробки цифрових зображень.

Визначення положення системи в зовнішньому середовищі

Первинним завданням, і однією з найважливіших для робототехнічної системи, є завдання визначення поточного положення, в якій знаходиться робототехнічна система.

Для цього, пристрій інтелектуального мобільного робота має включати програмну частину. Перш ніж представити структурну схему системи управління і ситуаційної ідентифікації, необхідно сформулювати ряд завдань, які повинна вирішувати система управління.

Завдання:

- планування траєкторій руху;
- розбір цільового завдання і розбиття цього завдання на ряд підзадач;
- для виконання руху по сформованим траєкторіях, необхідно виробити задають впливу для виконавчих механізмів робота.

Блок первинної обробки даних отримує необроблену інформацію з датчиків про стан зовнішнього середовища. У цьому блоці дані збираються, групуються і піддаються обробці. На виході виходять відформатовані дані, що передаються по стандартних протоколах. Це необхідно для зручності підключення нових датчиків, і чіткої систематизації даних, що в подальшому полегшує роботу з даними.

Інформаційно-вимірювальна система ідентифікації ситуації на основі оброблених даних вибудовує картину навколишнього світу. Дані з датчиків перетворюються в набір параметрів, на основі яких інші підсистеми приймають рішення. Параметри формуються за допомогою бази знань і алгоритмів. Тут же проводиться розпізнавання навколишніх об'єктів і побудова сенсорної карти середовища.

У базі алгоритмів містяться математичні алгоритми для вибудовування на основі даних цільової сенсорної карти, розпізнавання навколишнього оточення і предметів (розпізнавання звукових образів і зображень, цифрова обробка сигналів), обчислення необхідних параметрів, і перевірка отриманих даних.

База знань являє інформацію про зовнішнє середовище, закладену на етапі навчання і придбану в процесі функціонування. Знання упорядковуються і оновлюються.

Система управління поведінкою розбиває поставлене завдання на послідовність підзадач і формує поведінку робота для виконання завдань. Формує цільову точку, відповідні режими роботи інформаційно-вимірювальної системи ідентифікації. Від неї отримує дані про процес виконання і відображає їх користувачеві. Також надає користувачеві оброблену інформацію про ситуацію

і сенсорну карту, отриману від інформаційно-вимірювальної системи ідентифікації.

Система управління рухом, з огляду на динамічні властивості робота і невизначеність середовища, формує значення швидкості руху і напрямку для здійснення поставлених цілей.

Інтелектуальний інтерфейс використовується для зв'язку з оператором. Його завдання полягає в тому, щоб контролювати функціонування робота і здійснювати спостереження за процесом виконання поставлених цілей.

Блок первинної обробки робить обробку і аналіз зображень, що надходять від оптико-електронних систем. З огляду на характер вирішуваних завдань, необхідно врахувати наступні обмеження та особливості:

- інформація про характеристики фону і спостережуваних об'єктів найчастіше містить неточні розміри об'єктів або зовсім відсутній;
- у зв'язку з обмеженістю часу на прийняття рішень і наявністю замкнутого контуру управління рухом обробка, аналіз і розпізнавання повинні виконуватися в реальному часі;
- робота системи управління, стеження і обробки повинна проводитися за мінімальної участі людини або в автономному режимі.

У складних умовах, поліпшити якість сигналу і результату спостереження можна за допомогою алгоритмів оцінювання параметрів геометричних перетворень зображень і методів просторово-часової фільтрації.

Серед них можна виділити чотири основні методи:[8].

- для вимірювання положення нерухомих і рухомих об'єктів, що спостерігаються на однорідному і неоднорідному тлі, використовуються методи на основі порівняння з еталоном;
- використовуючи інформацію про статистичні властивості об'єкта і фону можна виділяти рухомі і нерухомі об'єкти, які спостерігаються на порівняно однорідному фоні. Такі методи називаються методи статистичної сегментації;
- при виявленні об'єктів на тлі ясного або хмарного неба максимальну ефективність показують методи виділення об'єктів за допомогою просторової

фільтрації. Дані методи використовують операції лінійної і нелінійної просторової фільтрації зображень;

- методи виділення динамічних змін засновані на виділенні змін, що відбуваються з плином часу в спостережуваній групі зображень. Такі методи застосовуються при вирішенні задачі виділення рухомих об'єктів.

Реалізація управління в умовах невизначеності зовнішнього середовища

Для вирішення завдання управління робототехнічної системою в умовах невизначеності використовується технологія динамічних експертних систем. Динамічна експертна система в своїй основі містить базу знань, склад якої адаптується з плином часу. За рахунок коригувальних алгоритмів здійснюється зміна і оновлення неактуальних правил. Така експертна система навчається самостійно.

Від якості проектування бази знань експертної системи буде залежати ефективність виконання поставлених цілей. База знань проектується на етапі розробки системи управління. Блок самонавчання повинен мати можливість оцінки знань, а саме їх повноти та якості, а також можливість корекції бази знань.

При плануванні траєкторії руху робота до цільової точки необхідно враховувати динамічні і конструктивні можливості робота, а також задані особливості поведінки. Для цього використовуємо теорію нечітких множин.

## 2.2. Розробка структури системи керування робототехнічної системи

Сучасний етап розвитку інтелектуальних робототехнічних систем характеризується розширенням галузей застосування від космічних і глибоководних досліджень, обслуговування атомних станцій, ліквідації техногенних аварій, проведення військових операцій, моніторингу навколишнього середовища до виконання складних медичних операцій. Значна частина зпоміж них повинна працювати у невизначених і екстремальних умовах з використанням дистанційного та автономного управління[9].

Під час застосування дистанційного керування робототехнічною системою виникають проблеми, які пов'язані з надійністю та вузькою смугою пропускання

каналів зв'язку, а також зі складністю роботи оператора. Тому виникає проблема розроблення автономних мобільних робототехнічних систем, здатних забезпечити виконання поставлених задач на базі макрокоманд оператора. Високий ступінь автономності робототехнічних систем забезпечується адаптацією їх до середовища, яке динамічно змінюється, шляхом самостійного прийняття рішень у складних невизначених умовах. Тому актуальною проблемою є вибір принципів побудови та розроблення базової архітектури РС для дистанційного дослідження різноманітних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій засвідчив, що задача сучасної робототехніки полягає в тому, щоби забезпечити автономну роботу дистанційно керованих мобільних робототехнічних систем у невідомій обстановці. Невизначеність зовнішнього середовища, в якому функціонує робототехнічна система, змушує включати до її складу такі апаратнопрограмні засоби: підсистему технічного зору, набори датчиків та інтелектуальні засоби. Ці апаратнопрограмні засоби зорієнтовані на забезпечення здатності самостійного пересування та автоматичного виконання поставленої задачі.

У роботах показано, що в існуючих мобільних робототехнічних системах у більшості випадків управління системою здійснює людина-оператора на рівні рухів, при цьому від оператора вимагається неперервне спостереження за платформою та оперативне керування її діями. Такий підхід до управління мобільною робототехнічною системою має такі недоліки: необхідність організації та постійної підтримки каналу зв'язку; швидке стомлення оператора, і як наслідок – збільшення ймовірності помилкових дій; складність правильної оцінки обстановки за даними телеметрії та здійснення адекватного управління.

Тобто основними шляхами покращення характеристик мобільних робототехнічних систем є доповнення їх інтелектуальними засобами, підсистемою технічного зору, наборами датчиків та апаратними комп'ютерними засобам, які забезпечать розширення функціональних можливостей, обробку даних і управління в реальному часі.

Основні вимоги, які висуваються до мобільних РС, це мінімізація габаритів,



енергоспоживання, забезпечення надійності, гнучкості та роботи у реальному часі. Створення таких РС вимагає широкого використання сучасних компонентів (відеокамер, датчиків, платформи-шасі, комп'ютерних систем) сучасної елементної бази для реалізації апаратних засобів комп'ютерних систем оброблення та управління (напівзамовних і замовних, процесорів цифрового оброблення сигналів, мікроконтролерів, комп'ютерів, нейрочіпів) та розроблення нових методів і алгоритмів для опрацювання у реальному часі різних за інтенсивністю надходження потоків даних (відеопотоків, даних із датчиків, команд управління).

Режим реального часу накладає обмеження на час розв'язання задачі  $T_p$ , який не повинен перевищувати часу обміну повідомленнями  $T_{обм}$ , тобто:

$$T_p < T_{обм} . \quad (1.1)$$

Час обміну залежить як від обсягу  $N$ , розрядності  $n$  і частоти  $F_d$  надходження вхідних даних, так і від кількості  $k$  каналів та їх розрядності  $n_k$ . Такий час визначають за формулою

$$T_{обм} = \frac{Nn}{F_d k n_k} . \quad (1.2)$$

Для забезпечення опрацювання потоків даних у реальному часі за допомогою комп'ютерних систем їх продуктивність повинна бути:

$$P > \frac{BRF_d k n_k}{Nn} , \quad (1.3)$$

де:  $R$  – складність алгоритмів розв'язання задач;  $B$  – коефіцієнт врахування особливостей засобів реалізації алгоритму.

Для підвищення ефективності використання обладнання у комп'ютерних системах оброблення та управління РС необхідно здійснити узгодження інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю апаратних засобів. Інтенсивність надходження даних залежить від кількості та розрядності каналів надходження даних і частоти надходження даних :

$$P_d = knF_d, \quad (1.4)$$

де:  $k$  – кількість каналів надходження даних;  $n$  – розрядність каналів надходження даних;  $F_d$  – частота надходження даних. Обчислювальна здатність апаратних засобів визначається так:

$$D_k = \frac{Mm}{T_k}, \quad (1.5)$$

де:  $M$  – кількість каналів надходження даних у сходинках конвеєра;  $m$  – розрядність каналів надходження даних у сходинках конвеєра;  $T_k$  – такт опрацювання даних.

Для вибору комп'ютерних засобів РС доцільно використовувати критерій ефективності використання обладнання  $E$ , який зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку апаратним засобам за продуктивністю. Кількісна величина ефективності використання обладнання для комп'ютерних засобів РС визначається таким чином: де  $W$  – витрати обладнання на реалізацію комп'ютерних засобів РС.

Крім перерахованих вимог, РС повинна забезпечувати[10]:

- мобільність і автономність достатню для виконання поставлених задач;
- використання сучасних інтерфейсів передачі даних і команд;
- інтерактивний режим управління робототехнічною системою.

Розробку та оптимізацію мобільних РС пропонуємо здійснювати на основі інтегрованого підходу, який охоплює:

- сучасні компоненти РС, елементну базу для побудови апаратних комп'ютерних засобів;
- сучасні методи та алгоритми інтелектуального управління, нейромережеві методи та алгоритми оцінювання даних із датчиків в умовах завад і неповної інформації, компресування та розпізнавання зображень і сцен;
- методи та засоби автоматизованого проектування апаратних і програмних засобів РС.

В основу побудови мобільних РС необхідно покласти принципи, які дадуть

змогу зменшити вартість, терміни і розширити галузі їх застосування. Результати аналізу доводять, що забезпечити дані вимоги можна в разі використання таких принципів побудови :

- ієрархічності побудови системи управління РС шляхом ділення її на горизонтальні шари;
- функціонування на основі зворотного зв'язку та підлеглості управління приводом;
- системності, за якого між компонентами мобільних РС утворюються такі зв'язки, які забезпечують цілісність і взаємодію;
- змінного складу обладнання, що передбачає наявність ядра мобільної РС та змінних модулів (компонентів), за допомогою яких ядро адаптується до вимог конкретного застосування;
- модульності, який передбачає розробку компонентів мобільних ІРС у вигляді функціонально завершених модулів, що мають вихід на стандартний інтерфейс;
- відкритості, за якого мобільні ІРС створюються з врахуванням можливості поповнення і оновлення функцій без порушення їх функціонування;
- сумісності, який передбачає використання інформаційно-технологічних інтерфейсів, завдяки яким ІРС може взаємодіяти з іншими системами;
- узгодженості інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю апаратних засобів;
- використання комплексу базових проектних рішень.

Більшість сучасних мобільних РС використовують інтерактивне управління на основі технологій штучного інтелекту. Особливістю таких РС є здатність до навчання та адаптація до зовнішнього середовища. В РС з інтерактивним управлінням для керування мобільною платформою використовуються як управляючий комп'ютер, так і вбудовані мікропроцесорні системи, які розміщені на мобільній платформі. З допомогою даних засобів здійснюється опрацювання відеоданих та даних з датчиків (сенсорних), яке забезпечує формування моделі зовнішнього середовища з різним ступенем

деталізації, розпізнавати та аналізувати складні ситуації, планувати поведінку, вибирати та реалізовувати програму руху.

Архітектуру РС можна представити у вигляді постійної частини – управляючого комп'ютер, вбудованих мікропроцесорних систем автономного правління та інтелектуального оброблення даних і змінної частини – спеціалізованих апаратно-програмних модулів з допомогою, яких здійснюється адаптація архітектури до вимог конкретних застосувань. Базова архітектура РС[12] наведена на рис. 2.1, де САПМ – спеціалізований апаратно-програмний модуль, ВСАПМ – вбудований спеціалізований апаратно-програмний модуль, ТЗ – технічний зір.

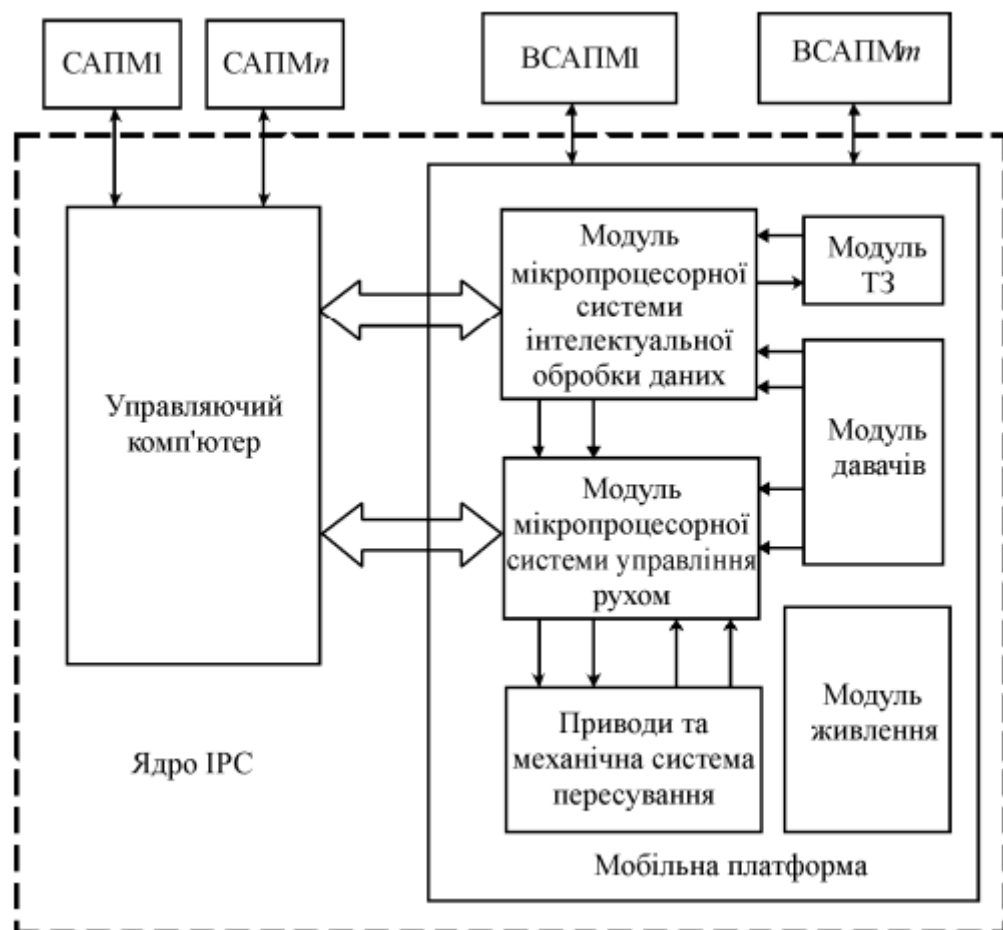


Рисунок 2.1. Базова архітектура РС

Особливістю цієї архітектури є змінний склад обладнання, який забезпечує розширення галузей застосування шляхом включення до складу РС необхідних модулів. До складу ядра РС, який є постійним для всіх застосувань, входять: управляючий комп'ютер, приводи та механічна система пересування, модулі –

мікропроцесорної системи управління рухом, мікропроцесорної системи інтелектуального оброблення даних, давачів, технічного зору та живлення. РС має ієрархічну систему керування, яка складається з двох рівнів: першого (управляючий комп'ютер) та другого – мікропроцесорної системи управління рухом (мобільна платформа).

Управляючий комп'ютер в РС забезпечує інтелектуальне опрацювання потоків відеоданих і формування команд управління для мобільної платформи. Обмін між управляючим комп'ютером і мобільною платформою здійснюється через два швидкісні безпроводні канали передачі даних. Один з каналів використовується для передачі управляючої інформації, а другий – для передачі відеоданих з модуля технічного зору. Для передачі даних між управляючим комп'ютером і мобільною платформою доцільно використати WI-FI стандарт (IEEE 802.11).

### 2.3. Розробка алгоритмів керування робототехної системи

Система управління робототехнической системи спеціального призначення, що відрізняються низькою собівартістю, включає в себе наступні підсистеми:

- навігації;
- стабілізації та управління;
- управління швидкістю.

Система навігації визначає закон руху центру мас робота і забезпечує рух за цим законом шляхом відповідної зміни керуючих впливів.

Система стабілізації зберігає необхідний кутовий рух робота навколо центру мас з задовільними характеристиками переходного процесу.

Система навігації складається з двох блоків: блоку навігації і блоку управління. У блоці навігації здійснюється вимір всіх параметрів руху робота, їх обробка та обчислення оптимальних оцінок і прогнозів цих параметрів для формування команд в блоці управління, тобто закону зміни траєкторії і самого алгоритму управління двигунами робота за обраною траєкторії. У блоці управління для синтезу алгоритму управління використовуються класичні алго-

ритми, наприклад, принцип максимуму і метод варіаційних обчислень. Структурна схема контуру управління представлена на рис. 2.2.



Рисунок 2.2. Структурна схема контуру керування

Розглянемо деякі методи, які часто використовуються для оптимального управління динамічними системами.

В залежності від функціоналів якості і постановок завдань найбільше розповсюдження отримали методи управління трьох видів: модальні регулятори, оптимальні регулятори стану і адаптивні регулятори стану.

В основі модального управління лежить відповідність складових вільного руху системи коренями характеристичного рівняння, що описує систему. Методи управління полюсами (коренями) замкнутої системи є основою при розробці модальних регуляторів. Системі надається такий розподіл коренів, що гарантує оптимальність перехідного процесу, стійкість, швидкодію, малі енерговитрати і т.п.

Управління полюсами в модальних регуляторах проводиться за допомогою формування ланцюгів зворотних зв'язків. При наявності повної інформації про вектор стану і повної керованості об'єкта, а також при заданому законі управління, що представляє собою лінійну комбінацію функцій вектора стану, можна домогтися будь-якого бажаного розташування коренів. У тому випадку, якщо передавальна функція не має нулів, часто застосовують метод стандартних

коефіцієнтів. Суть цього методу полягає в тому, що для передавальної функції об'єкта вибирається характеристичний поліном з відомим розподілом коренів. Існують різні види стандартних форм, наприклад, стандартні форми Баттерворда, біноміальні стандартні форми і інші розкладання, що доставляють мінімум різним функціоналом. Всі ці форми отримані емпірично і використовуються в системах до восьмого порядку.

В біноміальних стандартних формах оптимального розташування коренів домагаються забезпеченням рівності всіх коренів характеристичного полінома. Необхідно, щоб корінь, кратний порядку системи, був дійсним і негативним. Модуль цього кореня характеризує швидкодію системи. Біноміальні стандартні поліноми характеризуються досить млявими реакціями на зовнішні обурення, тому їх застосування обмежене. Як і біноміальні форми, стандартні форми Баттерворда характеризуються симетричним розподілом коефіцієнтів, проте їх реакція відрізняється більшою коливальністю.

Недоліком методів модального управління є можливість зсуву разом з коренями і нулів замкнутої системи, що може послужити причиною небажаних реакцій на зовнішні обурення. Внаслідок цього недоліку, а також через необхідність вибирати стандартну форму полінома з урахуванням властивостей конкретного об'єкта, що не завжди вдається зробити оптимальним чином, застосування методів модального управління в задачах інерціальної навігації обмежена.

Іншим видом алгоритмів управління є регулятори стану. Ці регулятори, синтезовані методами оптимізації, найбільш детально розроблені в інженерній практиці. Оптиміальні регулятори стану забезпечують управління безпосередньо вектором стану, а не полюсами, як в модальних регуляторах, внаслідок чого вони вільні від недоліків, властивих модальним регуляторам.

Структура і параметри регуляторів стану визначаються шляхом мінімізації деякого критерію якості. Ці методи дуже зручні при вирішенні цілого ряду завдань. Наприклад, для переведення об'єкта з заданого початкового стану в

нульове оптимальним чином можна побудувати регулятор стану зі змінними параметрами.

Рівняння оптимального регулятора стану зі змінними параметрами має вигляд

$$u_{n-j} = -K_{n-j} x_{n-j}, \quad j=1, 2, \dots, n. \quad (2.10)$$

Тут  $K$  – матриця регулятора стану, яка визначається в результаті рішення зворотних рівнянь з вихідним значенням  $P_n = Q$ ,

$$\begin{aligned} K_{n-j} &= (R + B^T P_{n-j} B)^{-1} B^T P_{n-j+1} A; \\ P_{n-j} &= Q + A^T P_{n-j+1} \times \\ &\times \left[ I - B(R + B^T P_{n-j+1} B)^{-1} B^T P_{n-j+1} \right] A. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Рівняння (2.11) – матричне рівняння Ріккати. Відзначимо, що в параметричних додатках при незначних змінах параметрів об'єкта застосовуються регулятори стану з постійними параметрами. Так як прагне до кінцевого значення, то в результаті виходить регулятор з постійними параметрами:

$$u_k^0 = -K_0 x_k. \quad (2.12)$$

Регулятори стану відрізняються простотою технічної реалізації, але постійні обурення компенсуються із статичною помилкою через пропорційну характеристики, а випадкові обурення, що діють на об'єкт в реальних умовах, взагалі не враховуються.

В умовах випадкових збурень модель об'єкта описується рівнянням такого вигляду:

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + F\omega_k. \quad (2.13)$$

Передбачається, що випадкове обурення це дискретний аналог білого гаусового шуму. Процеси  $x$  і  $m$  некореліровані. Оскільки змінні стану та вихідні сигнали в моделі об'єкта – випадкові процеси, функціонал якості також



випадкова величина, то мінімізувати потрібно математичне очікування цього функціоналу:

$$\min M\{J\} = \min M \times \left\{ \min M \left[ x_n^T Q x_n + \sum_{k=0}^{n-1} (x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k) \right] \right\}. \quad (2.14)$$

Якщо мінімум функціоналу  $J$  існує, то процеси мінімізації функціоналу та обчислення математичного очікування комутативні. Отже, рівняння стохастичного регулятора аналогічні регулятору в детермінованому випадку.

Незважаючи на перераховані раніше переваги, оптимальні регулятори стану мають цілу низку недоліків. Істотним недоліком є великий обсяг машинної пам'яті, необхідний для пошуку наближеного рішення рівняння Ріккати, так як отримати його в аналітичному вигляді вдається не завжди. Інший, не менш серйозний, недолік оптимальних алгоритмів – нездатність враховувати зміни зовнішніх умов, а також зміни перебігу процесів, властивих об'єкту і впливають на якість роботи системи управління.

Системи, що пристосовуються до змін характеристик об'єкта і до змін процесів, що відбуваються в об'єкті, називаються адаптивними. Існує два основних типи систем регулювання, в яких застосовується принцип адаптації: системи з адаптацією по розімкненому циклу і системи з адаптацією по замкнутому циклу.

Якщо властивості об'єктів повністю визначаються зовнішніми збуреннями, які доступні вимірюванню, і відомо як повинен налаштовуватися регулятор в залежності від цих вимірів, то застосовується схема з адаптацією по розімкненому циклу (в цій схемі регулятор не охоплений зворотним зв'язком). Однак, випадки дотримання подібних умов на практиці зустрічаються дуже рідко, тому застосування систем, побудованих за цією схемою, обмежена.

В випадках, коли не можна отримати необхідну інформацію про динаміку об'єкта, можливе використання системи з адаптацією по замкнутому контуру. Така схема передбачає отримання інформації про об'єкт шляхом обробки вимірювань вхідних і вихідних сигналів.

В системах з адаптацією по замкнутому циклу застосовуються самооптимізіруючі регулятори або регулятори з еталонною моделлю. Самооптимізіруючі регулятори будуються за схемою, представленій на рис. 2.3. Мета таких регуляторів – досягнення найкращої якості управління при заданому критерії оптимальності.

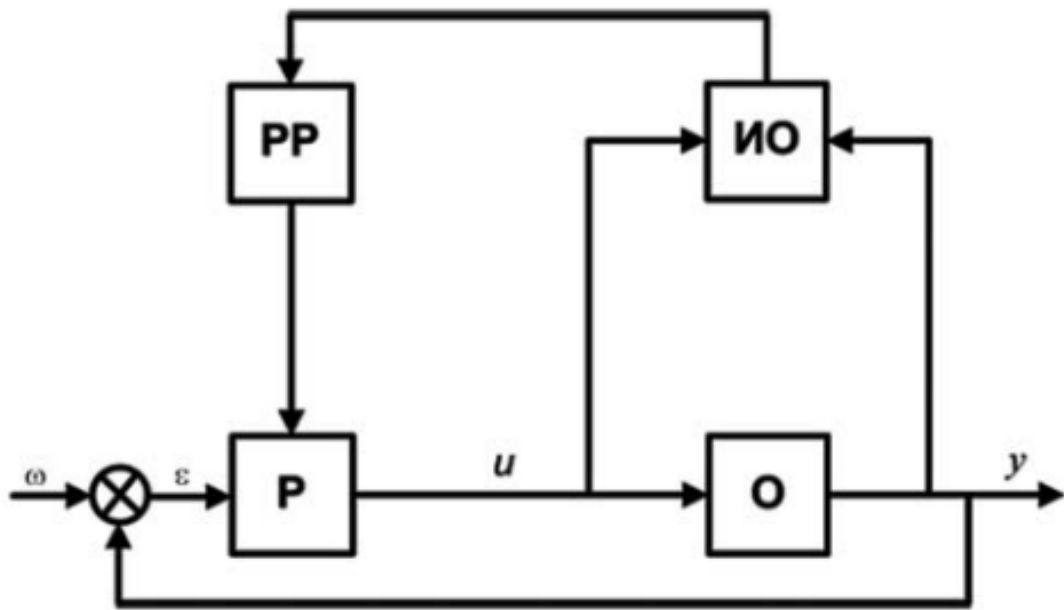


Рисунок 2.3. Схема системи регулювання з адаптацією по замкнутому циклу

Функціонал якості, що мінімізується в оптимальних алгоритмах управління, повинен змінюватися при дії на об'єкт впливів, що обурюють і зміні динамічних характеристик об'єкта. Для підтримки заданого у вигляді функціоналу рівня якості системи використовується блок розрахунку регулятора, який містить алгоритми, коригувальні параметри, або алгоритм управління регулятора. Як алгоритмів управління регулятора зазвичай використовуються оптимальні алгоритми управління, що відповідають вимозі мінімальних потреб в обсязі машинної пам'яті і швидкодії. Самооптимізіруючі регулятори здатні адаптуватися до неізмержимих зовнішніх збурень, що є істотною відмінністю від регуляторів з еталонною моделлю.

Регулятори з еталонною моделлю рис. 2.4. створені для отримання максимальної схожості реакцій досліджуваного замкнутого контуру управління і еталонної моделі на вхідний сигнал. При добре підібраній моделі і при вимірюваному, змінюється вихідні сигнали, так що регулятори відрізняються

здатністю швидко адаптуватися, але при невимірюваному параметру що змінюється адаптивність враховується.

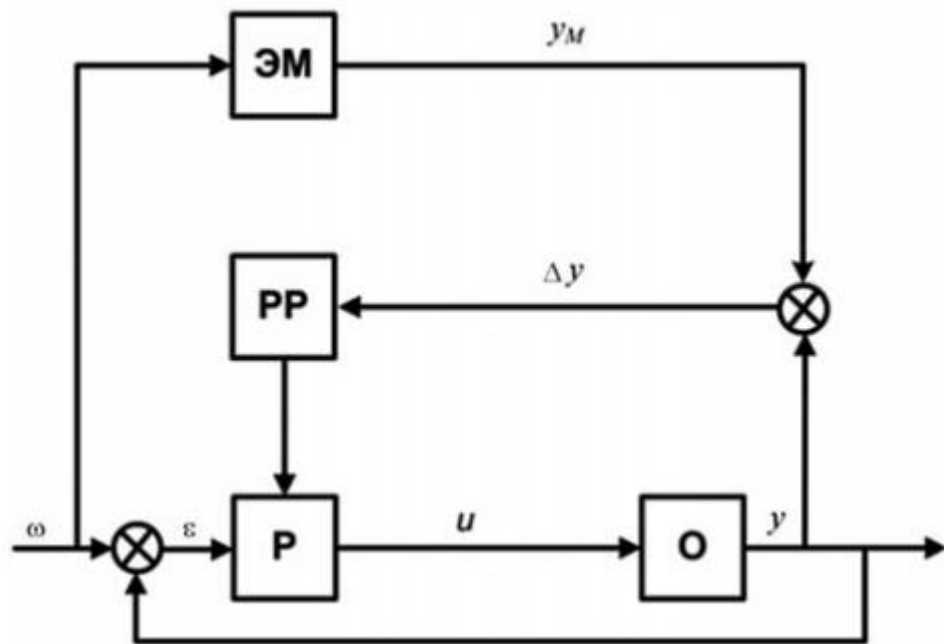


Рисунок 2.4. Регулятор з еталонною моделлю

Адаптивні системи управління мають вагомий недолік – надзвичайно важкою реалізацією обчислювальних алгоритмів. Це настільки ускладнює конструкцію системи і знижує її надійність, що застосування розглянутих адаптивних алгоритмів керування в робототехніці важко.

Відповідність до принципів максимуму Понтрягіна рішення системи рівнянь з метою досягнення значення максимуму функції Гамільтона визначає оптимальне управління  $u(t)$  методом варіаційного обчислення. Залежно від виду функціоналу  $J$  і умов обмеження існують різні наближені методи для вирішення задач оптимального управління. Вибір конкретного методу для вирішення задач оптимального управління залежить від виду функціоналу якості з різними обмеженнями, а також від вимоги до точності вирішуваних завдань.

Таким чином, для стохастичною завдання управління роботом необхідно вирішити матричні диференціальні рівняння Ріккати. Оскільки матричне диференціальне рівняння Ріккати лише в деяких тривіальних випадках має аналітичне рішення, то зазвичай воно вирішується за допомогою чисельних методів. В принципі, дослідження проблеми синтезу системи оптимального

управління в дискретному часі простіше, ніж в безперервному часі, оскільки замість диференціальних рівнянь і інтегралів використовуються різницеві рівняння і суми. При цьому можна зменшити обсяг обчислень в спецобчислювача робота і підвищити ефективність алгоритму обробки інформації.

Розглянемо синтез робастного управління на основі Н – теорії оптимізації. Досліджувана система управління може бути представлена функціональною схемою, зображеної на рис. 2.5.



Рисунок 2.5. Функціональна схема системи керування

В цьому випадку регулятор забезпечить мінімальний вплив збурень.

Структурна схема з урахуванням параметризації зображена на рис. 2.6.

Перевагою параметризації регуляторів є те, що параметр  $Q(s)$  лінійно входить у вираз передавальної функції замкнутої системи і дозволяє проводити більш простий пошук оптимальних регуляторів. Використання центрального регулятора забезпечує отримання робастної системи з задовільною якістю, яке прийнято в просторі.



Рисунок 2.6. Система керування з параметризацією стабілізуючих регуляторів.

Гідність класичного методу побудови регулятора полягає у вільному виборі бажаних характеристик перехідних процесів, а недолік – високий порядок регулятора.

Для управління можливе використання оптимального  $H_2$  регулятора. Цей регулятор має лінійну структуру і передбачає визначення в результаті лінеаризації матриці уявлення об'єкта в просторі станів ( $A$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ), рішення рівнянь.

Представлений алгоритм є субоптимальним. Побудова  $H_\infty$  регулятора передбачає рішення двох рівнянь Ріккати в кожному циклі вибору коефіцієнта толерантності  $\gamma$ .

В системах управління роботами використовуються лінійні і нелінійні алгоритми управління. Лінійні алгоритми відрізняються простотою, надійністю і добре відпрацьовані на практиці. Тому в практичних додатках зазвичай здійснюється лінеаризація математичних моделей керованих об'єктів.

## Висновки до розділу

Розробку та оптимізацію мобільних РС доцільно здійснювати на основі інтегрованого підходу, який охоплює сучасну елементну базу, методи та алгоритми інтелектуального управління, нейромережеві методи та алгоритми оцінювання даних із давачів в умовах завад і неповної інформації, компресування та розпізнавання зображень і сцен, методи та засоби автоматизованого проектування апаратних і програмних засобів.

В основу побудови мобільних РС пропонуємо покласти такі принципи: ієрархічності побудови системи управління, системності, змінного складу обладнання, модульності, відкритості, сумісності, узгодженості інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю апаратних засобів і використання комплексу базових проектних рішень.

Для розширення галузей застосування архітектура РС має змінний склад обладнання, який передбачає наявність ядра РС, який є постійним для всіх застосувань і змінних спеціалізованих апаратно-програмних модулів, з допомогою яких ядро адаптується до вимог конкретного застосування.

## РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СИНТЕЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

### 3.1. Моделювання процесу функціонування робототехнічної системи

Розробляти та оптимізувати архітектуру МРС пропонується на основі інтегрованого підходу, який охоплює:

- сучасні компоненти МРС, елементну базу для побудови апаратних комп'ютерних засобів;
- технології штучного інтелекту, сучасні методи та алгоритми інтелектуального управління, методи та алгоритми оцінювання даних із давачів в умовах завад і неповної інформації;
- методи та засоби автоматизованого проектування апаратних і програмних засобів МРС.

Для забезпечення широкого спектра застосування архітектура МРС повинна мати змінний склад обладнання, що передбачає наявність ядра системи та змінних апаратно-програмних модулів. Ядро системи становить управляючий комп'ютер, модулі опрацювання даних та управління, систему технічного зору, давачі та виконавчі механізми. Використання змінних вбудованих і зовнішніх модулів забезпечує адаптацію МРС до виконання різноманітних задач. Базову архітектуру МРС наведено на рис.3.1. Основними компонентами архітектури МРС є: управляючий комп'ютер, модулі опрацювання даних та управління, система технічного зору, давачі та виконавчі механізми.

Для взаємодії МРС з зовнішнім середовищем використовуються давачі та система технічного зору. Система технічного зору переважно забезпечує розпізнавання об'єктів, визначення перешкод, аналіз структури зовнішнього середовища (визначення можливості руху через задану ділянку шляху), визначення відстані чи кута поворота на об'єкт, побудови карти місцевості, відслідковування руху певного об'єкта тощо.

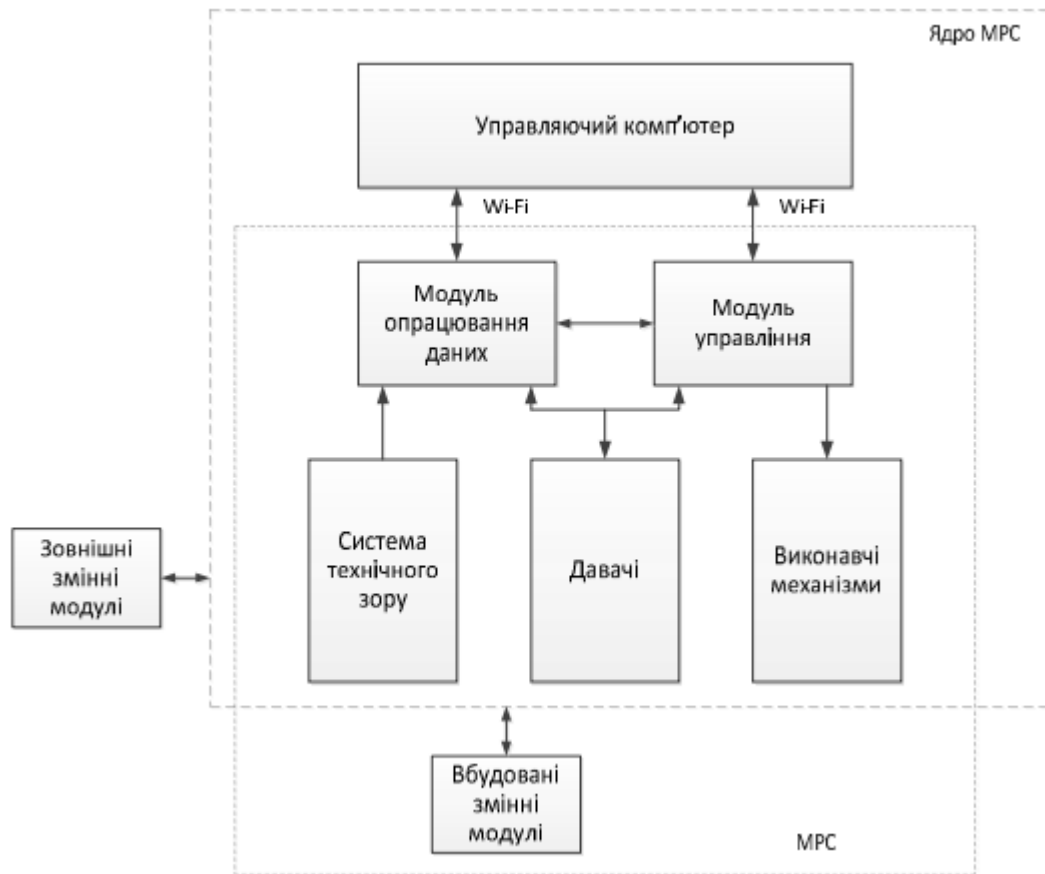


Рисунок 3.1. Синтезована система архітектури мобільної робототехнічної системи

Існує велика різноманітність систем технічного зору, але найчастіше до таких систем входять відеокамери або стереокамери. Стереокамери забезпечують одержання більшої кількості інформації про досліджувані об'єкти, але при їх використанні виникає складність алгоритмів опрацювання даних. Тому доцільно використовувати в складі системи технічного зору відеокамеру з поворотним механізмом для одержання повної інформації про зовнішнє середовище, яка водночас забезпечує зменшення складності алгоритмів опрацювання даних порівняно з використанням стереокамер. Запропоновано використовувати відеокамеру Logitech C910 для реалізації системи технічного зору. Особливістю цієї відеокамери є наявність автофокуса, а також можливість робити фотографії з роздільною здатністю 2304x1728 пікселів та здійснювати запис відео з FullHD якістю 1920 x 1080 пікселів (1080p).

Типи та кількість датчиків переважно залежать від поставлених цілей MPC. Наявність декількох датчиків забезпечує надлишкову інформацію, що забезпечує



характеристику зовнішнього середовища з різних сторін для ефективного управління. В МРС можуть використовуватись зовнішні давачі, що визначають параметри зовнішнього середовища, а також внутрішні давачі, що визначають параметри самої МРС.

На етапі виконання адаптивним роботом сформованого якимось чином завдання можна виділити, принаймні, такі паралельно розвиваються процеси.

Рівень приводу. Процес, що розвивається на цьому рівні, зайнятий перетворенням надходить на його вхід управління в реальний рух рухомих зчленувань. Саме цей процес здійснює інтерфейс з приводами рухливих зчленувань, т. Е. Його інакше можна назвати драйвером приводу; в загальній структурі програмного забезпечення він виділений з огляду на важливість виконуваних ним функцій і названий серед керуючих програм (модуль управління об'єктом). Часто цей процес виконує ще функції підготовки даних про стан виконавчого механізму.

Рівень обчислення управління. Головною функцією процесу  $\wedge$ , що займає цей рівень, є перетворення дискретної послідовності цільових точок, або точок позиціонування, в безперервний (насправді майже безперервний зважаючи дискретної природи) керуючий сигнал.

Рівень обчислення точок позиціонування. На цьому рівні можуть розвиватися два процеси: інформаційний і обчислювальний. Перший зайнятий збором і обробкою інформації про зовнішнє середовище і поданням цієї інформації обчислювальному процесу, що виконує функції трансляції елементарних операторів в послідовність точок позиціонування на підставі переданої йому інформації.

Рівень оператора. Процес цього рівня обслуговує оператора, приймаючи від нього команди і адекватно на них реагуючи. Ясно, що можуть виникнути ситуації, коли оператор змушений буде втрутитися, щоб аварійно зупинити процес виконання завдання, зажадати будь-яку інформацію про стан завдання або виконати деяку роботу, не пов'язану з виконанням поточного завдання,



інші сусідні системи, якщо діапазон їх робочих частот досить близький до розглядається як «корисною». Дотримуючись повсюдно прийнятої термінології, будемо називати цей вид спотворень перешкодами.

У повсякденній практиці зустрічається велика різноманітність типів перешкод в зв'язку з чим, як правило, приймаються спеціальні заходи, які протидіють їх руйнівній тельному дії. У цьому розділі буде показано, що розширення спектру є потужним інструментом нейтралізації перешкод. Вичерпне дослідження поведінки систем, схильних до комбінованого впливу перешкод і теплового шуму, обчислення інтегральних характеристик, таких як ймовірність помилки або точність вимірювання. Конкретні результати цієї досить копіткої роботи можна знайти в книгах, наприклад і, в основному, численних спеціалізованих статтях, проте наше завдання багато скромніше і в демонстрації загальної ідеї боротьби з перешкодами шляхом використання сигналів з рас пространения спектром. З цієї причини обмежимося тільки найпростішим оцінвані- їм відносини потужностей сигналу до загального заважає впливу. В іншому, будемо вважати, що діє найпростіший, але і найбільш характерний вид перешкоди, що описується гауссовским випадковим процесом, спектр якого перекривається зі спектром сигналу. Іноді такий спрощений підхід є адекватним, як це має місце при передачі даних за допомогою BPSK або ASK, коли ймовірність помилки зави сит тільки від вище згаданого відносини, що передбачає можливість аппроксимації заважає, гауссовским законом. Інші ситуації (як, наприклад, М-передача даних або вимірювання параметрів) так очевидні, і характеристики якості визначаються як величиною відносини потужностей. Однак дане відношення залишається індикативним, що дозволяє судити про потенційні переваги распределенности спектра. Розглянемо дві основні моделі перешкод, починаючи з випадку вузькополосної перешкоди.

#### *Вузькополосної перешкода*

Даний тип перешкод найбільш характерний для ситуацій, коли деяка система або системи не мають ворожих намірів по відношенню до розглядатися, і створюють перешкоди тільки в результаті свого нормального функціонування.

На рис. 3.3 у вигляді прямокутників представлені амплітудний спектр корисного сигналу і спектральна щільність потужності перешкоди  $J(f)$  на тлі рівномірної спектральної щільності потужності, де спектр сигналу не схильний до спотворення перешкодою. Вузькополосна перешкода, крім того, може бути визначена як частково-смуговий, гармонійна і т.д., проте в нашій ситуації конкретне значення її смуги не грає ролі.

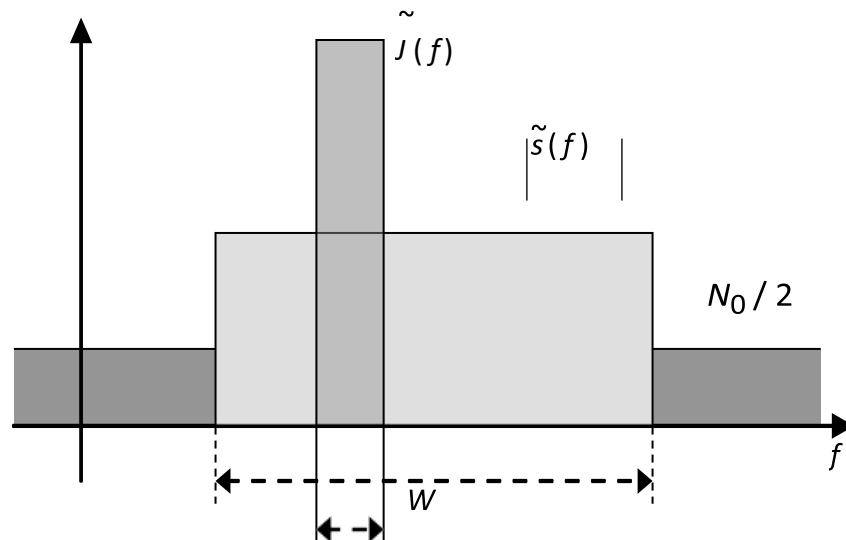


Рисунок 3.3. Спектр сигналу вузькополосної перешкоди

Спочатку припустимо, що розглянута система не робить ніяких спеціальних заходів для протидії перешкоди за винятком тільки відповідного вибору сигналу. Подібного роду сценарій означає, що при проектуванні системи передбачена можливість присутності перешкоди, і вона прийнята в розрахунок вибору сигналу, однак система не є адаптивною, і не приймаються заходи шляхом вибору закону модуляції або алгоритмів обробки, пристосованих до існуючої завадної обстановці. Іншими словами, завжди використовується тільки фільтр, узгоджений з МБФ-ШПС, не дивлячись на наявність або відсутність перешкоди на вході приймального пристрою.

#### *Загороджувальна перешкода*

У багатьох військових сценаріях і розвідувальних заходах часто зустрічається ситуація, коли перешкода створюється навмисно як засіб радіоелектронної протидії. У подібних ситуаціях постановник перешкоди може припускати, що переважна система виявиться здатною зареєструвати

присутність перешкоди і відповідним чином відреагувати на її вплив. Зокрема, при використанні візькополосної перешкоди система може вдатися до режекторний фільтрації або навіть змінити сигнал шляхом переносу його спектра в зону вільну від перешкод. Для запобігання будь-якої такої можливості може бути застосована загороджувальна шумова перешкода, спектр якої без проміжків покриває спектр сигналу рис. 3.4. Очевидно, що загороджувальна перешкода впливає на сигнал як додатковий АБГШ зі спектральною щільністю потужності.

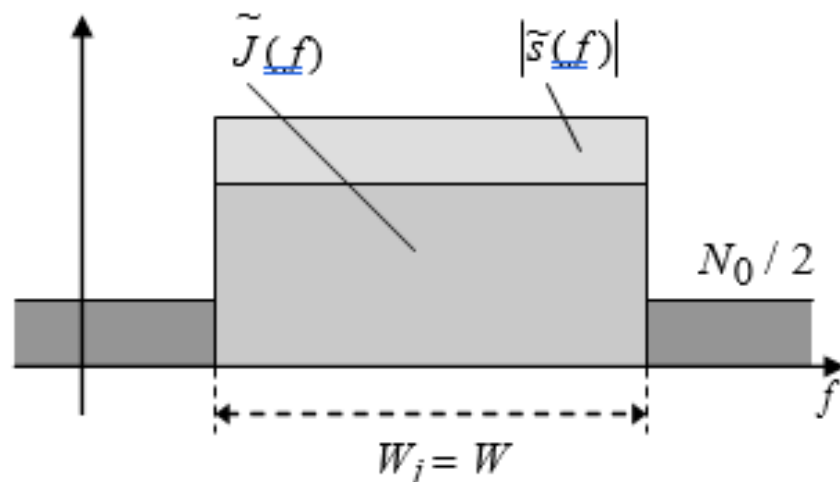


Рисунок 3.4. Спектр сигналу загороджувальної перешкоди

Впливає, що при накладенні обмежень, як на пікову потужність корисного сигналу, так і на потужності ресурс постановника перешкод, єдиним способом підвищення імунітету системи до загороджувальної перешкоди є залучення сигналів з великим значенням частотно-тимчасових широкополосних сигналів.

Для візуального підтвердження вищезгаданого висновку наведемо два рисунки, отриманих моделюванням в середовищі Matlab. Рис. 3.5 ілюструє узгоджену фільтрацію простого сигналу з прямокутною обвідною (колонка а) і широкополосного сигналу (колонка б) однаковою тривалості і енергії.

Одна і та ж безперервна перешкода додається до обох сигналів (другий рядок). У той час як простий сигнал повністю замаскований перешкодою і явно не видно на виході узгодженого фільтра, широкополосний сигнал, чітко спостерігається на виході після тимчасового стиснення в узгодженому фільтрі.

На рис. 3.5, де колонки відповідають відповідним сигналам, верхня діаграма відповідає їхнім спектрами. Діаграми у другому рядку демонструють спектр потужності двох випадкових реалізацій різних загороджувальних перешкод з однаковою середньою потужністю в полосі сигналу.

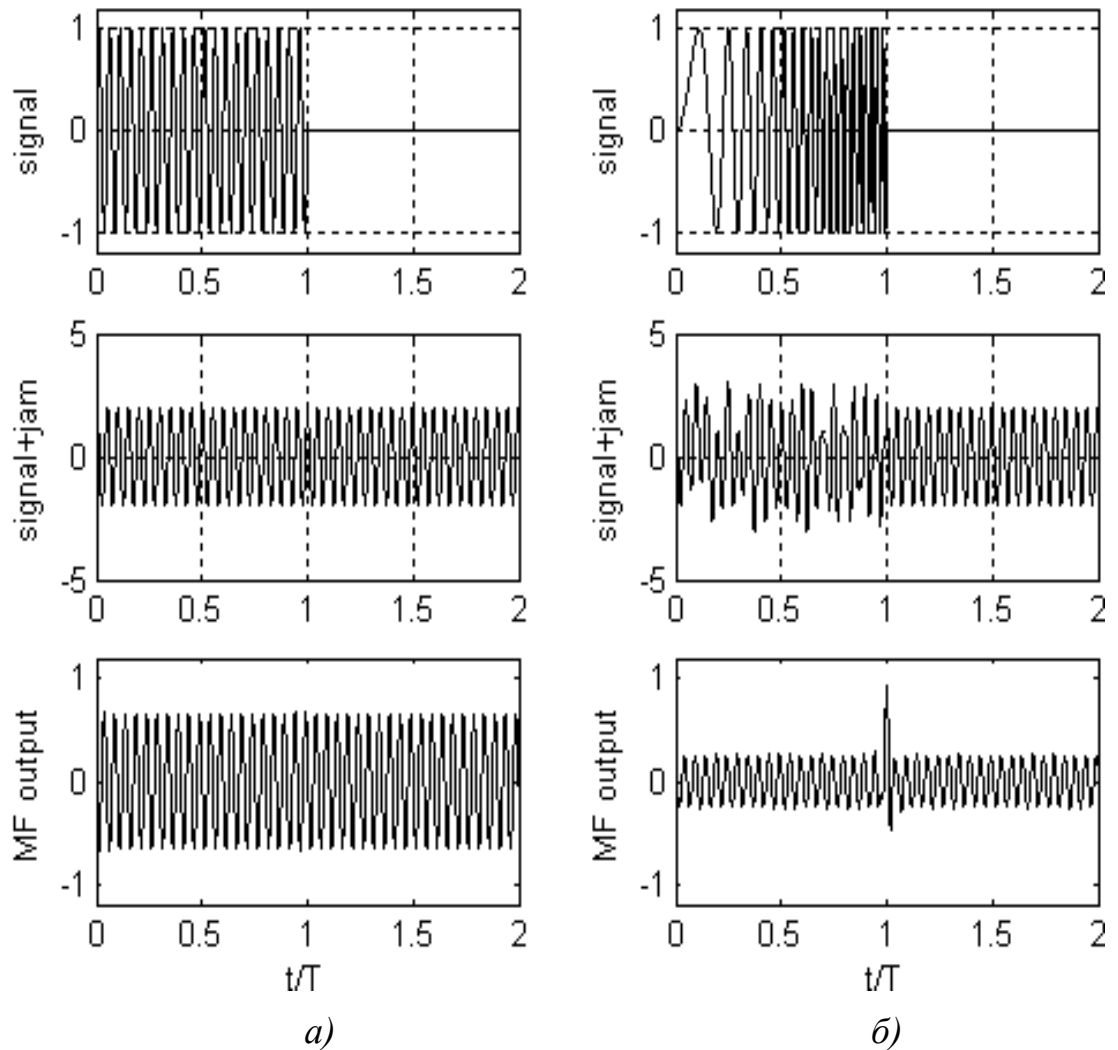


Рисунок 3.5. Фільтрація простого сигналу з прямокутною обвідною і широкополосного сигналу

Внаслідок цього середній рівень спектра в колонці *б)* приблизно в 50 разів нижче рівня в колонці *а)*. Третій ряд демонструє приклад спостережуваного коливання, причому інтенсивність перешкоди приблизно однакова для обох сигналів, які досить добре нею приховані. Що стосується нижніх діаграм, то вони знову підтверджують перевагу широкосмугового сигналу в стійкості до перешкод різних типів.

Визначення ймовірності помилки прийому  $P$  для сигналів МНФ-ШПС в розділі базувалося на припущенні гауссовської апроксимації статистичних вихідних сигналів інтеграторів приймача. І ця гауссовська апроксимація дає задовільні результати при різних коефіцієнтах розширення спектра  $M$ . Зробимо порівняльну характеристику ймовірності прийому сигналу враховуючи вплив комбінованої вузькополосної та загороджувальної перешкоди для різних типів модифікацій широкополосного спектру. Досліджуємо питання завадостійкості прийому сигналів МНФ-ШПС параметру коефіцієнту спектра для деяких значень параметрів сигналу і перешкод.

На рис. 3.6. показані результати моделювання приймача широкополосного сигналу при впливі комбінованої перешкоди, де вісь  $X$  – коефіцієнт розширення спектра  $M$ , вісь  $Y$  – ймовірність помилки прийому сигналу  $P$ .

На рисунку відображені МЧМ-ШПС – широкополосний сигнал з мінімальною частотною модуляцією(суцільна лінія), ПРМНФ – сигнал з прямокутним частотним імпульсом(пунктир), ФМ-ШПС – широкополосний сигнал з фазовою маніпуляцією(точка пунктир), та МНФ-ШПС – широкополосний сигнал модульований з неперервною фазою.

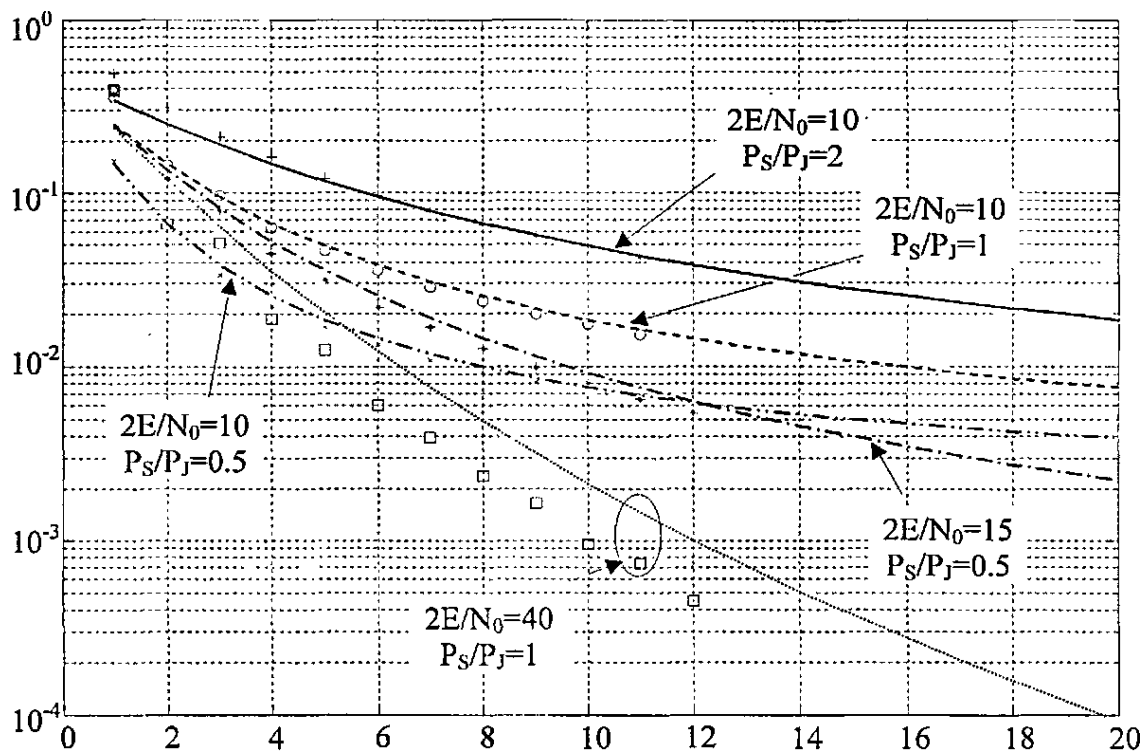


Рисунок 3.6. Показані результати моделювання приймача широкополосного сигналу.

## Висновки до розділу

Отримані дані при виконанні роботи свідчать про значні перспективності сигналів МНФ-ШПС і можуть бути використані при проектуванні і розробці різної апаратури передачі даних, що мають широку сферу застосування.

У дисертації розглянуто досить широке коло питань, пов'язаних з дослідженням сигналів МНФ-ШПС і розробкою методів їх прийому, однак, в даний час в даній галузі наукових знань залишається ряд перспективних напрямків для подальших досліджень. До їх числа, зокрема, відносяться: пошук оптимальних форматів сигналів МНФ-ШПС, стійких до дії флуктуаційних і нефлуктуаційних перешкод, визначення потенційної завадостійкості найкращих форматів сигналів, розробка стійких алгоритмів адаптивної цифрової фільтрації, здатних швидко перебудовуватися в перешкоджаючих умовах.



## 4. МАРКЕТИНГОВИЙ АНАЛІЗ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 4.1. Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Підвищити стійкості системи керування робототехнічною системою	Використання під час розробки робіт інженерами-розробниками; у якості допоміжного засобу під час дослідження науковими співробітниками, студентами тощо.	Заощадження часу; гарантована правильність розрахунків; наявність супровідних пояснювальних даних.

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
Мій проект	Конкурент1	Конкурент2	Конкурент3			
Система керування РС	Математично-розрахункові пакети	Розрахунок вручну з обчислювальними потужностями виконання елементарних розрахунків	Відсутній	Вузька спеціалізація, яка вимагає додаткових значних ресурсів при внесенні незначних змін у роботу програми	Для використання необхідний звичайний персональний комп'ютер без обмежень і вимог до характеристик	Усі розрахункові формули вже реалізовані, потрібно просто вводити значення
				Необхідність додатково платити за окрему програму замість використання розповсюджених недорогих математично-розрахункових пакетів типу Mathcad		Точність розрахунків та відсутність помилок
						Наявність допоміжної супровідної інформації як то розрахункова схема, формули Простота та зрозумілість використання, що гарантує результат та відсутність проблем у користувача

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.

Таблиця 4.3. Техніко- економічні характеристики ідеї

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї
1.	Простий зрозумілий інтерфейс.
2.	Наявність супровідної інформації у вигляді розрахункової схеми та формул.
3.	Швидке та правильне здійснення розрахунків.
4.	Супровід користувача у вигляді підказок та обмеження зайвих дій.
5.	Швидкий ввід вручну або завантаження вже готових даних з файлу.
6.	Можливість зберегти правильні дані у файл.

#### 4.4. Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.4. Технологічна здійсненність проекту

№ п/п	Ідея проєк- ту	Технологіїїреалізації	Наявність технологій	Доступність техно- логій
1.	Підвищити ефективність процесу розробки модуля газового накопичувача з рекуперацією енергії	C++ Java	Технологія наявна	Технологія доступна, проблем виготовлення не передбачається

Висновок – програмне забезпечення доступне, передбачається відсутність проблем.

### 4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартапу

Попередня характеристика потенційного ринку стартапу.

Проведення аналізу попиту.

Таблиця 4.5. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3 виробники, покупці, постачальники
2	Загальний обсяг продаж	1000 штук/рік на суму 1 млн. грн..
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Законодавчі обмеження відсутні; конкуренти виробляють товари-замінники.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідність ДСТУ
6	Середня нормарентабельності в галузі (або по ринку), %	120%

Висновок – умови ринку сприятливі.

Характеристика потенційних клієнтів.

Таблиця 4.6. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Реба, що фор- мує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Здійснювати розрахунки параметрів при проектуванні роботи швидко та без помилок. Усунути витрати часу на розгляд та розбір методології розрахунку.	Інженери-розробники для пришвидшення процесу проектування; науковці та дослідники при дослідженні роботи технічної сфери; студенти у навчальних та освітніх цілях.	Різні вимоги з точки зору докладності та зрозумілості складових розрахунку. Різні вимоги до функціоналу, більш детальні для спеціалістів та прості для студентів.	Відсутність помилок, двозначних ситуацій під час розрахунку; наявність супровідної роз'яснювальної інформації; вичерпний та простий інтерфейс.

Висновок – потенційні групи клієнтів визначені, особливості товару для груп зазначені, потенційність попиту достатня.

## Аналіз ринкового середовища.

Таблиця 4.7. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Вузька цільова аудиторія	Мала кількість спеціалістів, для яких призначений модуль	Об'єднати декілька модулів розрахунку параметрів для різних типів робіт
2.	Невеликий національний ринок	Розвиток робототехніки дуже незначний в Україні	Перевід інтерфейсу на інші мови та вихід на ринки інших країн
3.	Вузькоспеціалізований продукт з малою впізнаваністю	Саморозповсюдження інформації про продукт низьке через малу кількість зацікавлених осіб	Проведення таргетованих рекламних компаній

Таблиця 4.8. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Створення безкоштовної пропозиції	Поширеність інформації простіше при наявності активних лояльних неприбуткових користувачів	Надання обмеженому колу осіб безкоштовної версії або випробувальної версії для всіх бажаючих
2.	Підвищення доступності програми	Веб-додатки або версії для смартфонів набагато доступніші у користуванні	Розробка версії додатків для веб-користування та версії для смартфонів
3.	Розвиток сфери робототехніки	Зростання сфери розширить ринок систем САПР для різних типів робіт	Розробка аналогічних систем для інших типів робіт
4.	Розширення функціоналу модуля	Дозволяє розширити ринок через залучення інших проектувальників	Внесення змін та вдосконалення поточної версії додатку

Висновок: існують загрози та можливості та відповідні шляхи реагування для запобігання та реалізації. Проект можна впроваджувати.

Аналіз пропозицій на ринку.

Загальні риси конкуренції на ринку

Таблиця 4.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	Вчому проявляється дана характеристика
1. Вказати тип конкуренції - монополія/олігополія/ монополістична/чиста	Монополістична конкуренція: достатня кількість невеликих виробників, продаж схожої, але неідентичної продукції.
2. Зрівнем конкурентної боротьби - локальний/національний/...	Національний.
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ внутрішньогалузева	Внутрішньогалузева
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова товарно-видова між бажаннями	Товарно-родова, найближчі конкуренти Mathcad та MATLAB належать до іншого роду
5. За характером конкурентних переваг - ціновий / неціновий	Неціновий
6. За інтенсивністю - марочна/немарочна	Товар немарочний бренд не відіграє велику роль, здійснюється вихід на ринок

Висновок – конкуренція прийнятна.

Аналіз конкуренції в галузі за Майклом Потером

Таблиця 4.10. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Відсутні	Потенційними конкурентами може стати будь-яка компанія ІТ-розробки, яка створить аналогічну версію додатку	Розробники пакету Microsoft Visual Studio, за допомогою якого відбулась розробка, та можливий подальший супровід, виправлення та оновлення версій	Клієнти можуть знайти заміну та не користуватись продуктом у разі високої ціни	Товарами-замінниками є математично-обчислювальні пакети
Висновки:	Боротьба з прямими конкурентами і відсутня	Можливості входу на ринок вільні; строки виходу на ринок короткі – півроку.	Постачальники не диктують умови на ринку, але можуть ускладнити роботу своїми діями	Клієнти не диктують умови на ринку, але можуть відмовитись від продукту, знайти аналог	Товари-замінники не задають прямо обмеження для роботи на ринку

Висновок – можливість роботи з визначеним станом конкуренції прийнятна.  
Бар'єри входження на ринок – низькі.

#### Фактори конкурентоспроможності

Таблиця 4.11. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Відсутність необхідності підготовки до розрахунків, їх розробки	Усі формули вже реалізовані, для початку роботи треба лише ввести значення вхідних величин.
2.	Відсутність помилок	Розрахунки гарантовано проводяться правильно.
3.	Наявність супровідного матеріалу у вигляді розрахункової схеми та формул з поясненнями	Немає необхідності додатково шукати будь-яку інформацію. Пояснення формули та величин з них на схемі доступні в додатку.
4.	Дружній інтерфейс	Дії користувача обмежені, наявні підказки та орієнтації, що робити в першу чергу.

Висновок – продукт має переваги та кращі характеристики певних параметрів.

#### Сильні та слабкі сторони

Таблиця 4.12. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «назва проекту»

№ п/п	Фактори конкуренто-спроможності	Кількість балів (1-10)		
		Синтезована система керування РС	Мехатронічна система керування	Розрахунок на папері з калькулятором
1	Готовність до використання	10	4	1
2	Вартість	6	1	10
3	Інформативність	10	7	1
4	Інтерфейс	10	8	3
5	Правильність розрахунків	10	7	2
	Сума балів	46	27	17

Висновок – синтезована система керування РС має найвищу кількість балів.

## SWOT аналіз, виділення сильних та слабких сторін

Таблиця 4.13. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні	Слабкі
<b>Маркетинг</b>	
Можливість застосувати поширені типи реклами та маркетингу	Імідж відсутній, впізнаваність мінімальна, необхідне докладання значних зусиль та ресурсів
<b>Виробництво</b>	
Нескладне, необхідний лише безкоштовне доступне середовище Visual Studio	ПЗ знаходиться у відкритому доступі, що полегшує вихід на ринок конкурентів
<b>Персонал</b>	
Досить просто знайти персонал ІТ-галузі	Невисока кількість спеціалістів з робототехніки
<b>Дослідження та розробки</b>	
Технології відомі, додаткові дослідження не затребувані	Залежність від одного виду середовища розробки Visual Studio та умов його використання
<b>Фінанси</b>	
Для запуску виробництва потрібна невелика кількість фінансових ресурсів	Необхідність сплачувати податки може стати проблемою на початковому етапі низьких доходів
<b>Можливості</b>	
Вихід на закордонні ринки	Витіснення конкурентами
Розширення переліку створюваних додатків та їх функції	Відсутність достатнього попиту
Підвищення впізнаваності та створення бренду	Проблеми з наявністю ресурсів для маркетингових компаній
Створення безкоштовної версії для обмеженої кількості клієнтів або обмеженої версії для всіх клієнтів для запуску саморозповсюджувальної реклами	Погіршення економічного та політичного станів в країні
Укласти партнерський договір з виробниками роботів	Зниження купівельної спроможності

Таблиця 4.14. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ізність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія зросту	Невисока, здебільшого власна виручка за продаж	Від 0.5 до 1 року
2	Стабільності	Середня, збереження ресурсів від експансійної діяльності на інших ринках та агресивних рекламних компаній	Від 1 до 2 року
3	Скорочення	Невисока, мінімальні надходження від обмеженої кількості клієнтів	Від поточного моменту, кінець проекту до 1 року

#### 4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 4.15. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Інженери-розробники роботів	Висока	Високий	Низька	Висока
2	Дослідники та науковці	Низька	Низький	Низька	Висока
3	Студенти	Низька	Дуже низький	Низька	Висока
Які цільові групи обрано: Інженерів-розробників та науковців					

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Головна характеристика – якісна, а не цінова	Стратегія диференційованого маркетингу, оскільки обрано декілька сегментів	Тип конкурентної переваги – за визначними якостями	Стратегія диференціації



Таблиця 4.17. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Так	Пошук нових	Ні, оскільки повних аналогів немає	Стратегія лідера, а саме – стратегія розширення первинного попиту

Таблиця 4.18. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Правильність розрахунків	Стратегія диференціації	Коректність	Висока якість
2	Простий інтерфейс	Стратегія диференціації	Зрозумілість	Простота
3	Наявність підказок та супровідного матеріалу	Стратегія диференціації	Дружність інтерфейсу	Супровід

За базову стратегію розвитку обрано стратегію диференціації.

#### 4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Спершу формується маркетингова концепція товару для споживача (табл. 4.19).

Таблиця 4.19. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Правильність розрахунків	Розрахунки вже автоматизовані, здійснені перевірки, що гарантує високу надійність	Існуючі системи не надають готових рішень, тому за створення розрахункових програм у користувачів є імовірність допущення помилок. Ручний розрахунок має ще більшу імовірність неправильних розрахунків.
2	Простота та зрозумілість	Ефективний та простий інтерфейс	Існуючі системи не мають готового спеціалізованого інтерфейсу та пояснень для даного типу розрахунків.
3	Зрозумілість основ розрахункових формул	Наявність супровідної інформації у вигляді розрахункової схеми та формул з зазначеними межами фізичних величин, їх одиниць виміру та позначень	Існуючі системи не надають будь-якої інформації стосовно даного типу розрахунків.

Наступною відбувається розробка трьохрівневої маркетингової моделі товару: уточнення ідеї продукту, його фізичні складові (табл. 4.20).

Таблиця 4.20. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за заду- мом	Швидке та правильне здійснення розрахунків модуля рекуперації газового накопичувача		
II. Товар у реаль- ному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Правильність розрахунків.	М	Тл
	2. Наявність пояснювальної інформації.	М	Е
	3. Дружність та простота інтерфейсу	М	Е
	4. Наявність підказок та направлень дій користувача.	М	Е
	5. Вартість.	М	Вр
	6. Зовнішній вигляд.	М	Е
	7. Додаткові можливості – завантаження та запис з файлу.	М	Тл
	Якість: задовольняє вимогам якості		
	Пакування: відсутнє		
Марка: синтезована система керування РС			
III. Товар із підкрі- пленням	До продажу: надійна синтезована система керування РС зі зрозумілим інтерфейсом		
	Після продажу: підтримка сервісу, оновлення версій, безкоштовні консультації.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентуванням.			

Наступним етапом є визначення рівня цін на потенційний товар (табл. 4.21).

Таблиця 4.21. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	1300\$/рік	Немає аналогів	1000-2000\$/місяць	40-60\$/рік

Наступним етапом є формування системи збуту (табл. 4.22).

Таблиця 4.22. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Вид каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Клієнту для придбання ліцензії необхідно здійснити оформлення замовлення на сайті та здійснити електронну оплату через зручну для нього систему.	Розробити сайт з детальним описом програми. Забезпечити розробку зручної форми для оформлення замовлення та підключити безпечні швидкі способи оплати через розповсюджені системи. Надати можливість зворотнього зв'язку, підтримки клієнта.	Кількість посередників, що передають товар один одному до придбання клієнтом нульова	Збут через сайт через одноосібні та групові ліцензії на визначений термін.

Останнім етапом є розробка концепції маркетингових комунікацій (табл. 4.23).

Таблиця 4.23. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Інженери-розробники та науковці як головні цільові групи клієнтів взмозі самостійно розробити схожу програму в зручному середовищі, тому будуть витрачати кошти на розроблюваний синтезований керування РС лише в тому випадку, якщо він буде недорогий та зручний.	Виставки, таргетована реклама для певних сегментів, реклама у робототехнічних групах в соціальних мережах, згадки та реклама у журналах та періодичних виданнях відповідної тематики.	Невелика ціна, надійність розрахунків, простота, мобільність та зручність.	Переконати потенційного клієнта, що за невелику суму він виправдано спростить свою роботу.	Схилити клієнта прийняти незначне рішення, яке не коштуватиме для нього практично ніяких коштів, зате достатньо спростить роботу.

## Висновки до розділу

У четвертому розділі визначена ідея стартапу, його сильні та слабкі сторони, здійснений технологічний аудит проекту, здійснене дослідження ринку, цільових груп клієнтів, їх характеристика, очікування та бажання. Проведений SWOT-аналіз, аналіз конкуренції, визначені стійкі конкурентоздатні властивості та переваги. Розроблена ринкова стратегія та маркетингова програма. Дослідження встановило, що продукт має унікальні характеристики, існують сегменти споживачів на ринку, які можуть бути зацікавлені в придбанні товару. Використовуючи стратегію диференціації як стратегію розвитку та стратегію розширення первинного попиту як базову стратегію конкурентної поведінки можна виходити на ринок.

## ВИСНОВКИ

За допомогою аналізу існуючих способів підвищення стійкості системи керування РС ми дійшли висновку, що на стійкість системи керування РС значний вплив вчиняє вибір структури, вибір потужності її рушіїв, покращення алгоритму керування з урахуванням виконання заданих задач та використане електронне обладнання. Додаткове покращення можливо отримати використовуючи принцип надлишковості. Розглянувши загальну модель рушійного комплексу та проаналізувавши структури та класифікацію РС, які можуть забезпечити одночасне керування апарата з метою удосконалення системи керування РС була проведена розробка структури та алгоритмів керування РС та виконане моделювання процесу функціонування удосконаленої за допомогою електронного обладнання системи керування РС, а також розроблені рекомендації щодо покращення схеми системи керування. Аналіз та моделювання довели, що для підвищення керованості необхідно обрати форму РС з меншими приєднаними масами й коефіцієнтами опору при великих кутах атаки.

За результатами проведених досліджень можемо зробити висновок, що при роботі РС на складному рельєфі та маневруванні у вертикальній площині можливість включення додаткових задач, визначається гнучкістю системи управління, що забезпечують алгоритми руху. Використання покращеної схеми системи керування призведе до значного підвищення швидкодії, підвищення точності та стійкості системи управління РС.

Впровадження вдосконаленої системи керування вирішить проблеми подальшого розвитку систем керування РС, дозволить функціонування в режимі реального часу, в непередбачених умовах, або в умовах невизначеності.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Андре П. Конструирование роботов: Пер. с франц. / Андре П., Кофман Ж.-М., Лот Ф. – М.: Мир, 1986. – 360 с.
2. Начало пути шагающих роботов. – [Электронный ресурс]. – <https://topwar.ru/37559-nebolshie-shagi-nachalo-puti-shagayuschih-robotov.html>
3. Корсунский В.А. Повышение эффективности мобильных роботов путем использования дополнительного источника энергоснабжения – маховичного аккумулятора энергии / Научное издание МГТУ Им. Н. Э. Баумана «Наука и образование». – 2013. – С. 125-134.
4. Ляшенко С.Г. Маховичный рекуператор энергии // Холодильная техника и кондиционирование. 2010. №1.
5. Надараи Цезари Гергиевич, Бабкина Людмила Алексеевна, Шестаков Иван Яковлевич, Фадеев Александр Александрович Химико-кинетический накопитель энергии // Сибирский журнал науки и технологий. 2014. №2 (54).
6. Янг Дж. Ф. Робототехника: Пер. С англ./Ред. М. Б. Игнатьев. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 300 с. – С. 64.
7. Источники питания мобильных роботов. – [Электронный ресурс]. – <http://robot-develop.org/archives/1464>
8. Future batteries, coming soon: Charge in seconds, last months and power over the air. – [Электронный ресурс]. – <https://www.pocket-lint.com/gadgets/news/130380-future-batteries-coming-soon-charge-in-seconds-last-months-and-power-over-the-air>
9. В ожидании "большого взрыва": как украинцы создали лучшие накопители энергии в мире. – [Электронный ресурс]. – <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2018/04/23/636238/>
10. Суперконденсаторы – накопители энергии нового поколения. – [Электронный ресурс]. – <http://www.energyland.info/interview-expert-497>
11. Л. А. Бабкина. Химико-кинетический накопитель энергии / Вестник СибГАУ. – 2014. – № 2(54). – С. 56-61.

12. Trevelyan J.P., Kang S.C., Hamel W.R. Robotics in hazardous applications // Springer Handbook of Robotics / Eds B. Siciliano, O. Khatib. Berlin: Springer-Verlag, 2008. P. 1101-1126. DOI: 10.1007/978-3-540-30301-5\_49.
13. Агафонов А.А., Поддубный В.Н. Помехоустойчивость приема частотно-манипулированных сигналов с минимальным сдвигом на фоне гармонической помехи // Радиотехника. - 1998. - № 1.-с. 3-7.
14. Баланов М.Ю. Вероятностно-временные характеристики процесса перестройки цифрового синтезатора частоты. // Электронный Журнал радиоэлектроники. - 2008. - №5. - <http://ire.cplire.ru/alt/may08/4/text.html>
15. Банкет В.Л., Дорофеев В.М. Цифровые методы в спутниковой связи. - М.: Радио и связь, 1988. - 240 с.
16. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. -М.: Мир, 1989.-540 с.
17. Бокк О.Ф. Особенности приема широкополосного сигнала на фоне гауссовского шума и синусоидальной помехи // Теория и техника радиосвязи: Научн.- техн. сб. - Воронеж, ВНИИ связи, 1995. - Вып. 1.-с. 20-28.
18. Ю.Борисов В.И. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. - М.: Радио и связь, 2000. - 384 с.

## ДОДАТОК А



## ДОДАТОК Б

## Загальна система керування мобільним роботом



Демонстраційний плакат №2  
до магістерської дисертації на тему  
«Підвищення стійкості системи керування робототехнічною системою»

Виконав: студент гр. ІК-82мп Болкуневич В.О.  
Керівник: д. т. н., професор Пархомей І.Р.

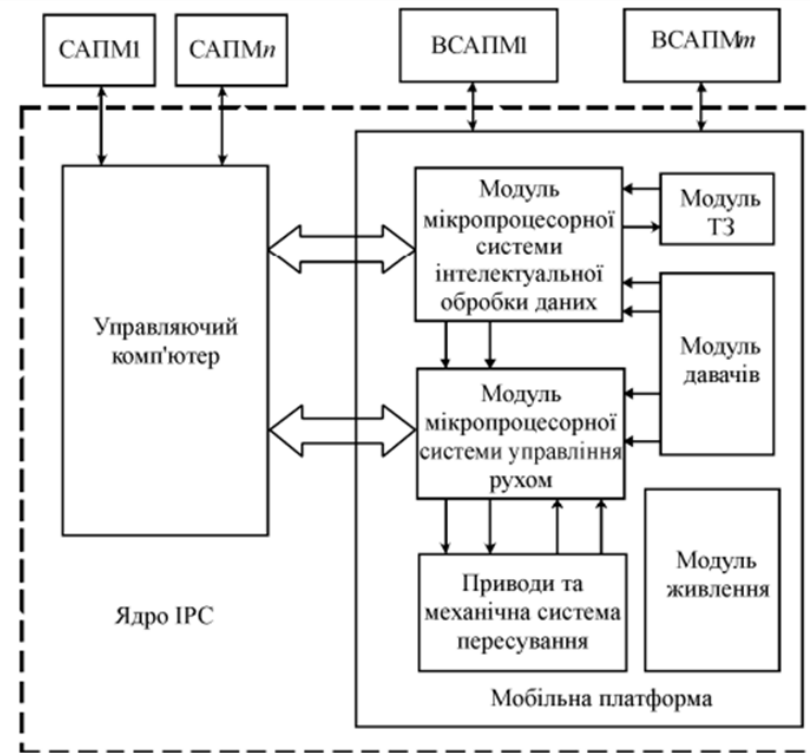
## Типова ієрархія робототехнічної системи



Демонстраційний плакат №1  
до магістерської дисертації на тему  
«Підвищення стійкості системи керування робототехнічною системою»

Виконав: студент гр. ІК-82мп Болкуневич В.О.  
Керівник: д. т. н., професор Пархомей І.Р.

## Архітектура робототехнічної системи



Демонстраційний плакат №3  
до магістерської дисертації на тему  
«Підвищення стійкості системи керування робототехнічною системою»

Виконав: студент гр. ІК-82мп Болкуневич В.О.  
Керівник: д. т. н., професор Пархомей І.Р.

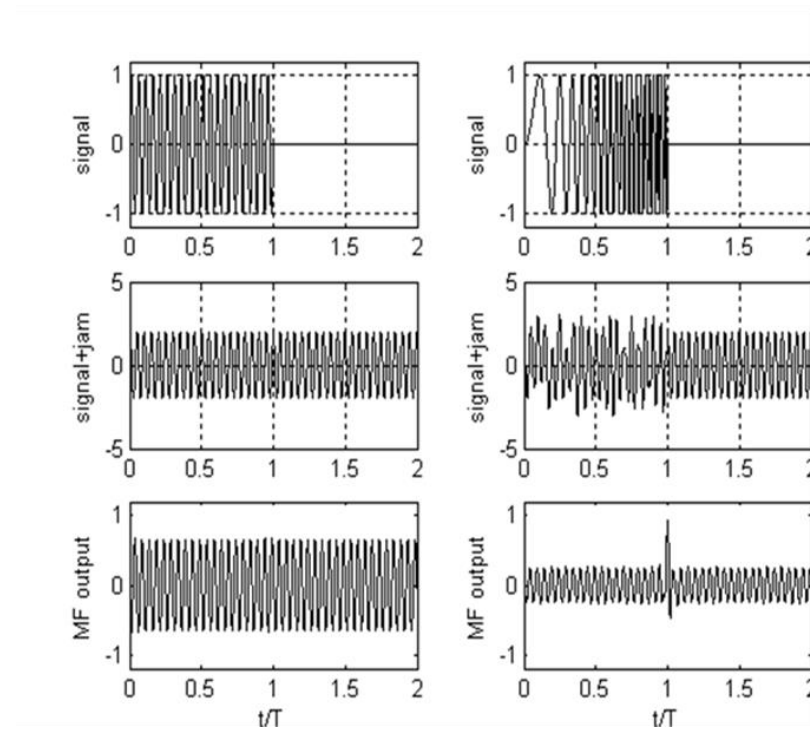
## Функціональна схема системи керування



Демонстраційний плакат №4  
до магістерської дисертації на тему  
«Підвищення стійкості системи керування робототехнічною системою»

Виконав: студент гр. ІК-82мп Болкуневич В.О.  
Керівник: д. т. н., професор Пархомей І.Р.

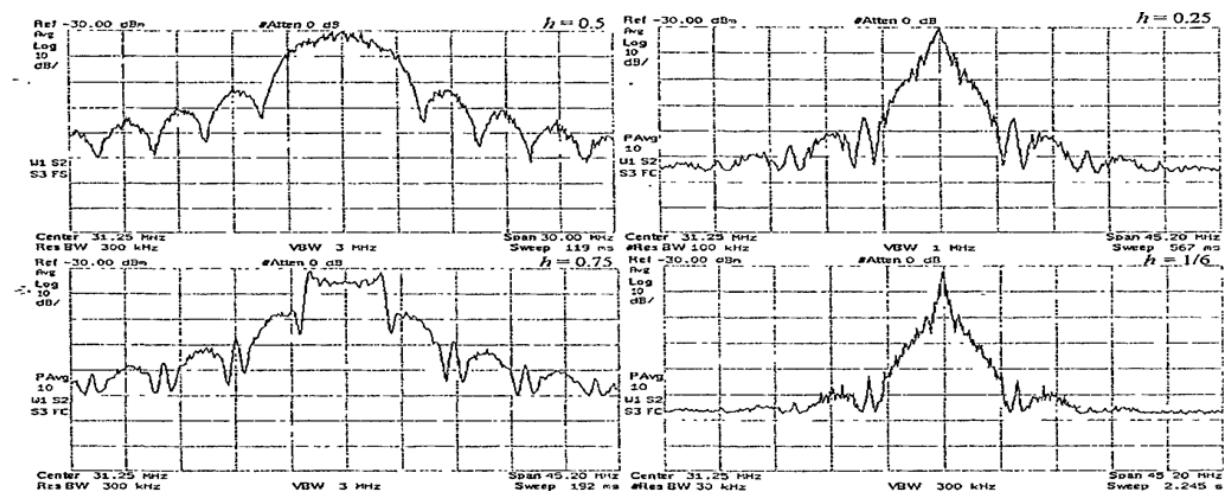
## Фільтрація простого сигналу з прямокутною обвідною і широкополосного сигналу



Демонстраційний плакат №5  
до магістерської дисертації на тему  
«Підвищення стійкості системи керування робототехнічною системою»

Виконав: студент гр. ІК-82мп Болкуневич В.О.  
Керівник: д. т. н., професор Пархомей І.Р.

## Спектральні характеристики сигналу МНФ-ШПС



Демонстраційний плакат №6  
до магістерської дисертації на тему  
«Підвищення стійкості системи керування робототехнічною системою»

Виконав: студент гр. ІК-82мп Болкуневич В.О.  
Керівник: д. т. н., професор Пархомей І.Р.